

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh spalovací komory pro spalovnu radioaktivních odpadů

**Proposal of Combustion Chamber for Radioactive Incineration
Plant**

Student:

Bc. Boháč Martin

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Boháč**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh spalovací komory pro spalovnu radioaktivních odpadů**
Proposal of Combustion Chamber for Radioactive Incineration Plant

Zásady pro vypracování:

Navrhnete projekt spalovací pece s přesuvným roštem pro spalovnu nízko - radioaktivních odpadů. Projekt doplňte o výkresy vyzdívek spalovací a dohořivací komory.
Materiály volte podle: www.seeifceramic.cz.

Zadané parametry:

Výkon při spalovacím režimu 80 až 150 kg / hod;
spalovací teplota podle odpadu 600 až 1200 °C;
teplota v dopalovací komoře 900 až 1300 °C;
výstupní teplota spalin 800 až 1100 °C;
využitelný tepelný výkon 0,5 až 0,8 MWt.

Seznam doporučené odborné literatury:


HEJZLAR, Radko. *Stroje a zařízení jaderných elektráren*. Díl 1 a 2. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2005. 385 s. ISBN 80-01-03189-6.
MÁTAL, Oldřich. *Jaderné reaktory a jejich chlazení*. Nakladatelství CERN VUT v Brně. 2001. 116 s. ISBN 80-214-2028-6.
HEZOUČKÝ, František. *Základy teorie provozních režimů jaderných elektráren s tlakovodními reaktory*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2005. 185 s. ISBN 80-01-03324-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Pavlu Kolatovi, DrSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Ostravě dne

.....

(podpis autora)

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

Adresa trvalého pobytu:
Pekařská 646/3, Hlučín okr. Opava

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BOHÁČ, M. Návrh spalovací komory pro spalovnu nízkoradioaktivních odpadů. Ostrava: Katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 72 str. Diplomová práce, vedoucí prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem spalovací komory pro spalování nízkoradioaktivního odpadu. Řešení práce obsahuje návrh vyzdívek spalovací a dohořivací komory. V první části práce jsou vypočteny základní podmínky pro průběh spalování odpadu. Druhá část je zaměřena na čištění spalin, návrhem pračky spalin a výpočtem teplot spalin vystupujících z dvoustupňové pračky.

ANNOTATION OF THE THESIS

BOHÁČ M., Proposal of Combustion Chamber for Radioactive incineration Plant. Ostrava: Department of energy, Mechanical Engineering Faculty VŠB – Technical university Ostrava, 2012, 72 pages, Thesis, head: prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

This thesis describes the design of the combustion chamber for radioactive incineration plant. The solution includes design work and after burning the lining of the combustion chamber. In the first part are calculated by the basic conditions for waste incineration process. The second part focuses on the flue gas clearing, gas appliance design and calculation of flue gas temperature exiting the two-stage machine.

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI A ROZDĚLENÍ RAO	13
	2.1 Pevné odpady	13
	2.2 Kapalné odpady	13
	2.3 Plynné odpady	14
3	IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ	16
	3.1 Vliv ionizujícího záření na lidský organismus	16
	3.2 Záření alfa	16
	3.3 Záření beta	17
	3.4 Záření gama	18
4	ZPRACOVÁNÍ A NAKLÁDÁNÍ S RAO	19
	4.1 Zpracování kapalných RAO	20
	4.1.1 Cementace	20
	4.1.2 Bitumenace	20
	4.1.3 Vitifikace	21
	4.2 Zpracování pevných RAO	21
	4.2.1 Lisování	22
	4.2.2 Spalování	22
	4.3 Bezpečnost při spalování	24
5	NÁVRH SPALOVACÍ KOMORY S PŘESUVNÝM ROŠTEM.....	26
	5.1 Vyzdívky spalovací a dopalovací komory	27
	5.1.1 Fiberfrax duraboard	28
	5.1.2 Izobet	28
	5.1.3 STV	29
	5.1.4 Novobet 1450	29
	5.1.5 Tepelná izolace orsil	29
	5.2 Výpočet	30
	5.2.1 Určení spotřeby spalovacího vzduchu	31

5.2.2	Určení množství spalin	32
5.2.3	Určení množství spalin z plynu	33
5.3	Spalovací komora	34
5.4	Objem dohořívací komory s doba setrvání spalin v DK.....	36
5.4.1	Rozměry dohořívací komory	37
5.4.2	Proudění spalin	37
5.5	Výměník tepla	39
6	ČIŠTĚNÍ SPALIN	40
6.1	Metody čištění spalin	40
6.2	Suchý proces čištění spalin	41
6.3	Mokrý proces čištění spalin	42
6.4	Polosuchý proces čištění spalin	43
7	NÁVRH PRAČKY SPALIN	45
7.1	Charakteristika pračky	45
7.2	Výpočet délky reakčních komor	48
7.2.1	Model kapky	48
7.2.2	Počáteční rychlost kapky	49
7.2.3	Přenos tepla při ohřevu a vypařování kapky	51
7.2.4	Určení průměru dvoustupňové pračky	56
7.2.5	Tryska sorbentu	57
7.3	Teplota spalin na výstupu z pračky	58
7.3.1	Výstupní teplota spalin z I. stupně pračky	59
7.3.2	Výstupní teplota spalin z II. Stupně pračky	60
8	TKANINOVÝ FILTR	62
9	SPALINOVÝ VENTILÁTOR	63
10	ZÁVĚR	64
11	LITERATURA	66

Seznam použitých symbolů a zkratek

Velká písmena

Bq	[-]	Becquerel
DK	[-]	dohořivací komora
D _p	[m]	průměr reakčních komor
HCl	[-]	chlorovodík
HF	[-]	fluorovodík
JE	[-]	jaderná elektrárna
Nu	[-]	Nusseltovo kritérium
P _p	[W]	celkový tepelný příkon v odpadu
P _{p,p^l}	[W]	tepelný příkon v plynu
P _{sp}	[W]	teplo odvedené spaliny
Pr	[-]	Prandtlovo číslo
Q _c	[MJ/kg]	celková výhřevnost
Q _i	[MJ/kg]	výhřevnost odpadu
Q _p	[MJ/kg]	výhřevnost přídavného plynu
Q _s	[l/h]	množství sorbentu
RAO	[-]	radioaktivní odpad
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
SK	[-]	spalovací komora
Sv	[-]	Sievert
S _{DK}	[m ²]	průřez DK
SO ₂	[-]	oxid siřičitý
S _{kp}	[m ²]	povrch kapky
S _p	[m ²]	plocha stupně pračky
V _{vz,s min}	[m ³ /kg]	teoretické množství spalovacího vzduchu
V _{vz, s}	[m ³ /kg]	skutečné množství spalovacího vzduchu
V _{sp,t}	[m ³ /kg]	teoretické množství spalin

V_{H_2O}	$[m^3/kg]$	objem vody
$V_{sp, s}$	$[m^3/kg]$	skutečné množství spalin
$V_{vz,t,pl}$	$[m^3/m^3]$	teoretické množství spalovacího vzduchu
$V_{vz,s,pl}$	$[m^3/m^3]$	skutečné množství spalovacího vzduchu
$V_{sp,t,pl}$	$[m^3/m^3]$	teoretické množství spalin
$V_{sp,c,n}$	$[m^3/s]$	celkový normální průtok spalin
\dot{V}_p	$[m^3/s]$	průtok plynu do hořáku
$\dot{V}_{sp,obj}$	$[m^3/s]$	objemový tok vlhkých spalin z odpadu
$\dot{V}_{sp,obj,pl}$	$[m^3/s]$	objemový tok vlhkých spalin z plynu
$V_{DK,s}$	$[m^3]$	skutečný objem dohořívací komory
$\dot{V}_{sp,s,DK}$	$[m^3/s]$	skutečné množství spalin v DK
$V_{DK,potr}$	$[m^3]$	potřebný objem DK
$\dot{V}_{sp,vyst}$	$[m^3/s]$	množství spalin vystupujících z pračky
\dot{V}_p	$[m^3/s]$	množství vodní páry vzniklé odpařením sorbentu

Horní index

s	suchý (vzduch, spaliny)
v	vlhký (vzduch, spaliny)

Malá písmena

b	[m]	šířka
d_{t-st}	[°C]	střední rozdíl teplot kapky a teplot spalin
l	[m]	délka
l_v	[kJ/kg]	měrné výparné teplo vody
m	[kg]	hmotnost
\dot{m}_{pal}	[kg/s]	výkon spalovny (množství paliva)
\dot{m}_{vz}	[kg/s]	hmotnostní tok vzduchu
m_{kp}	[kg]	hmotnost kapky
n	[-]	přebytek vzduchu
t_s	[°C]	teplota sorbentu
$t_{sp1,2}$	[°C, K]	teplota spalin
p_0	[MPa]	tlak v reaktoru
p_1	[MPa]	tlak vzduchu na vstupu do trysky
p''	[MPa]	parciální tlak
p_c	[MPa]	celkový tlak
t_{sp-st}	[°C]	střední teplota spalin
$t_{sp,vyst}$	[°C]	výstupní teplota spalin z pračky
v	[m]	výška
w_{vz}	[m/s]	rychlost vzduchu na výstupu z trysky
w_s	[m/s]	rychlost proudění sorbentu
w_{kp}	[m/s]	výstupní rychlost kapky
$w_{sp,p}$	[m/s]	rychlost proudění spalin

Řecká písmena

α	[W/m ² K]	součinitel přestupu tepla
λ_{sp}	[W/mK]	součinitel tepelné vodivosti
μ	[-]	průtokový součinitel
τ	[s]	časový interval
ν	[m ² /s]	kinematická viskozita spalin

1 ÚVOD

Jaderná energetika je obor často spojovaný s ochranou životního prostředí. Neustálý rozvoj tohoto odvětví v České republice i ve světě, jak v oblasti technické, tak politické, přináší řadu problémů.

Velká část veřejnosti jadernou energetiku odsuzuje, protože se bojí záření, které je může zasáhnout. Není se čemu divit, nedávná katastrofa v japonské Fukušimě nepřispěla k názoru, že se jedná o bezpečnou a perspektivní cestu při výrobě energie. Německo v tomto směru učinilo razantní krok a rozhodli se do roku 2022 odstavit všechny JE. Nicméně málokdo ví, že pokud by například japonská elektrárna byla konstrukčně lépe řešena, následky nemusely být tak hrozné.

Dalším problémem jsou radioaktivní odpady, které vznikají v každé JE, v ústavech jaderného výzkumu, na klinikách apod. Tyto odpady je nutno bezpečně likvidovat, ať už uložením nebo termickou cestou. RAO se dělí podle skupenství na pevné, kapalné a plynné. Všechny tyto odpady se pak rozčleňují do 5 kategorií podle radioaktivity a poločasu rozpadu s uvolňováním a produkcí tepelné energie.

Pro likvidaci RAO jsou navrhovány a konstruovány speciální spalovny RAO. Konstrukční požadavky na ně jsou složitější. Při spalování zůstanou radioaktivní částičky v popelu, spalováním dochází jak k redukci objemu, tak k využití energie v odpadu obsažené.

Spalovny taktéž narážejí na nepřízeň veřejnosti, ale laboratorní zkoušky a různé výzkumy dokazují, že proniknutí radioaktivních složek k člověku je velice nepravděpodobné.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem spalovací komory s přesuvným roštem pro spalování nízkoradioaktivního odpadu. Spalovací pec je rozdělena na spalovací a dohořívací komoru.

V první části práce jsou vypočteny základní podmínky při spalování odpadu. Vstupní parametry jsou dané zadáním diplomové práce.

Druhá část předkládá řešení čištění spalin polosuchou metodou pomocí dvoustupňové pračky spalin.

2 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI A ROZDĚLENÍ RAO

V provozu jaderné elektrárny vzniká velká část radioaktivních odpadů. Kromě vysokoaktivního vyhořelého paliva vzniká i středně aktivní a nízkoaktivní odpad. Vznik těchto odpadů je dán uvolňováním radionuklidů z reaktoru a následnou kontaminací materiálů. Hodnota radioaktivity časem klesá, a proto tyto odpady rozdělujeme na 3 stupně:

- Vysoce aktivní
- Středně aktivní
- Nízkoaktivní

Průměrně vzniká v JE 20 – 30 tun odpadů ročně. Jedná se zejména o odpad ve formě dřeva, papíru, pryže a plastických hmot. Zneškodňování podléhá přísným legislativním předpisům.

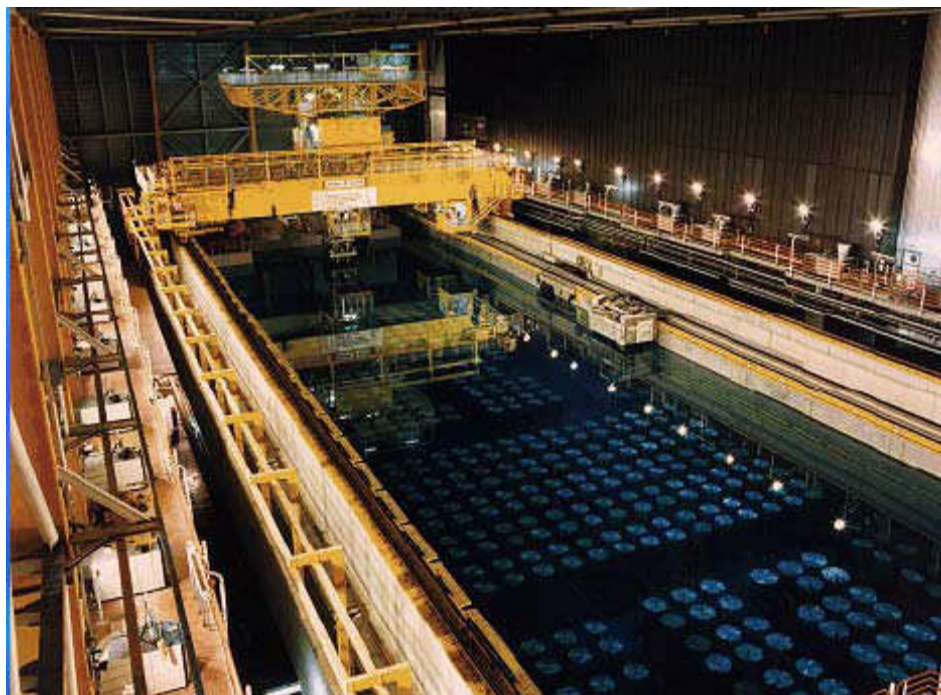
Podle skupenství rozdělujeme RAO na pevné, kapalně a plynné a podle poločasu rozpadu radionuklidů na krátkodobé a dlouhodobé.

2.1 Pevné odpady

Vznik pevných radioaktivních odpadů je součástí všech jaderných elektráren. Pod tímto pojmem můžeme najít širokou škálu odpadů, jako jsou ochranné oděvy, součásti z opravárenských činností, popř. revizí aj. Jedná se tedy o odpady, které vznikají při běžném provozu v elektrárně. Jak již bylo řečeno, jde o odpad ve formě dřeva, papíru, pryže a plastických hmot.

2.2 Kapalně odpady

Vznikají především v provozu JE. Nejčastěji se jedná o vodu z bazénů, která chladí již vyhořelé jaderné palivo. Tyto bazény se musí čistit, protože voda je silně kontaminovaná. Mokrý mezisklad vyhořelého jaderného paliva je znázorněn na obrázku 2-1. Může se také jednat o vodu, která se využívá při různých opravárenských činnostech. Odpadové vody lze dále vyčistit, minimalizovat kontaminaci a opětovně využít, nicméně druhotným využitím odpadní vody vznikne odpad, který už není dále použitelný.



Obr. 2-1 Mokrý mezisklad vyhořelého jaderného paliva, lit [3]

2.3 Plynné odpady

Při běžném provozu v JE vzniká i větší část plynných odpadů. Ve většině případů jde o odpadní plyn z ventilací nebo o plyn vznikající při rozpouštění vyhořelého jaderného paliva. Tyto plynné RAO je důležité „vyčistit“, tedy odstranit RA částice a aerosoly. Abychom toho docílili, je nutno použít vysoce účinné filtry. Vyčištěné plyny se vypouští komínem. Výhodou u plynných RAO je, že mají krátký poločas přeměny oproti pevným a kapalným odpadům.

Charakteristika RAO

Všechny uvedené odpady se dále rozdělují do 5 kategorií podle aktivity, poločasu rozpadu hlavních obsažených radionuklidů. Každá skupina vyžaduje jiný přístup k zneškodňování odpadů a trvalému uložení.

- Kategorie I

Vysoká aktivita, obsah dlouhodobých zářičů, vysoká produkce tepla, doba nebezpečnosti až milióny let

- ***Kategorie II***

Střední aktivita, obsah dlouhodobých záříčů, malá produkce tepla, doba nebezpečnosti statisíce let

- ***Kategorie III***

Nízká aktivita, obsah dlouhodobých záříčů, nevýznamná produkce tepla, doba nebezpečnosti desetitisíce let

- ***Kategorie IV***

Střední aktivita, bez obsahu dlouhodobých záříčů, mírná produkce tepla, doba nebezpečnosti tisíce let

- ***Kategorie V***

Nízká aktivita, bez dlouhodobých záříčů, nulová produkce tepla, doba nebezpečnosti stovky let

3 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Pojmem ionizující záření rozumíme taková záření, která ionizují prostředí, jímž procházejí. Patří sem záření vznikající rozpadem radioaktivních látek alfa, beta nebo gama, rentgenové záření vznikající dopadem urychlených elektronů na kovovou anodu rentgenky, záření vyvolané částicemi urychlenými v urychlovačích nebo neutronové záření, pocházející například z jaderného reaktoru nebo z některých jaderných reakcí. Lit [1]

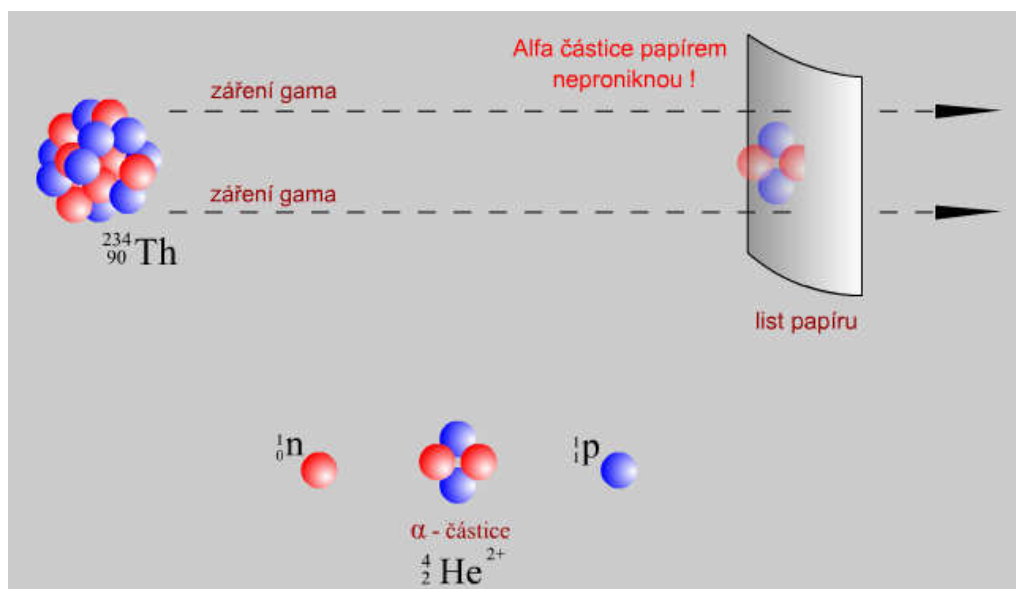
3.1 Vliv ionizujícího záření na lidský organismus

Rozlišujeme genetické a somatické účinky ionizujícího záření. Somatické účinky se projeví jako popálenina na kůži. Pozdní somatické účinky způsobují sníženou obranyschopnost organismu.

Akutní onemocnění z ozáření vzniká po dávce nad 1 Sv (Sievert), projevuje se bolestí hlavy, silnou nevolností aj, ovšem záleží na individuální odolnosti jedince. Těžká nemoc z ozáření nastává při dávce nad 4 Sv, kdy dochází k poškození krvevorných orgánů, trávicích orgánů nebo centrálního nervového systému. Lit [3]

3.2 Záření alfa

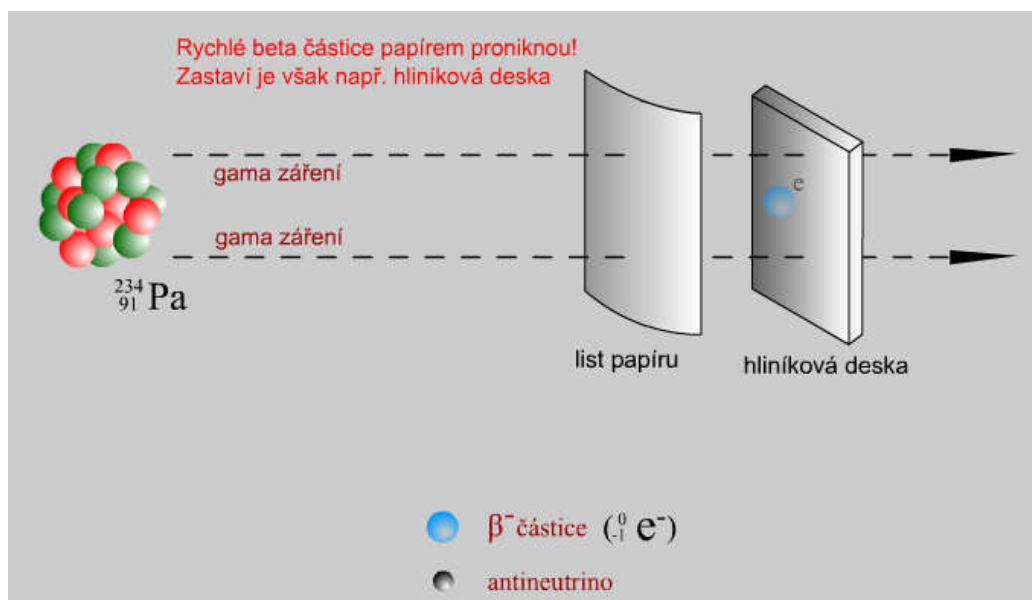
Před zářením alfa se dá snadno ochránit, protože jej zachytíme pouhým papírem. Obecně je však zářič alfa nebezpečný. Při jeho vdechnutí nebo požití například s jídlem může ozářit vnitřní orgány a poškodit organismus. Záření tvoří jádra Helia a je vyzařováno jádru uranu, radia, thoria aj. Grafické znázornění alfa záření je znázorněno na obr. 2-1.



Obr. 3-1 Záření alfa, lit [2]

3.3 Záření beta

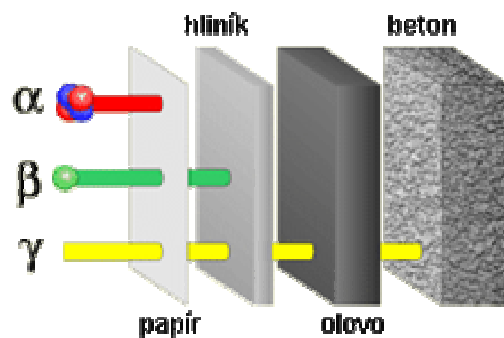
Jedná se o proud elektronů, které vyletují z jádra atomu. Elektrony dosahují energie až 10 MeV a jejich rychlost se blíží rychlosti světla. Při beta záření jsou elektrony pronikavější než alfa částice a mohou proniknout i menší vrstvou vody. K pohlcení nám tedy nestačí pouhý papír, ale pohltní jej například hliníková deska. Grafické znázornění beta záření je znázorněno na obr. 3-2.



Obr. 3-2 Záření beta, lit [2]

3.4 Záření gama

Gama záření silně ionizuje. Jedná se o elektromagnetické vlnění (fotonové záření s čárovým spektrem). Díky své energii může gama záření proniknout lidským tělem, pohltí jej až vrstva betonu nebo olova. Neexistuje samostatně, ale vždy provází jaderné děje, při nichž vzniká záření alfa nebo beta. Lit [2]

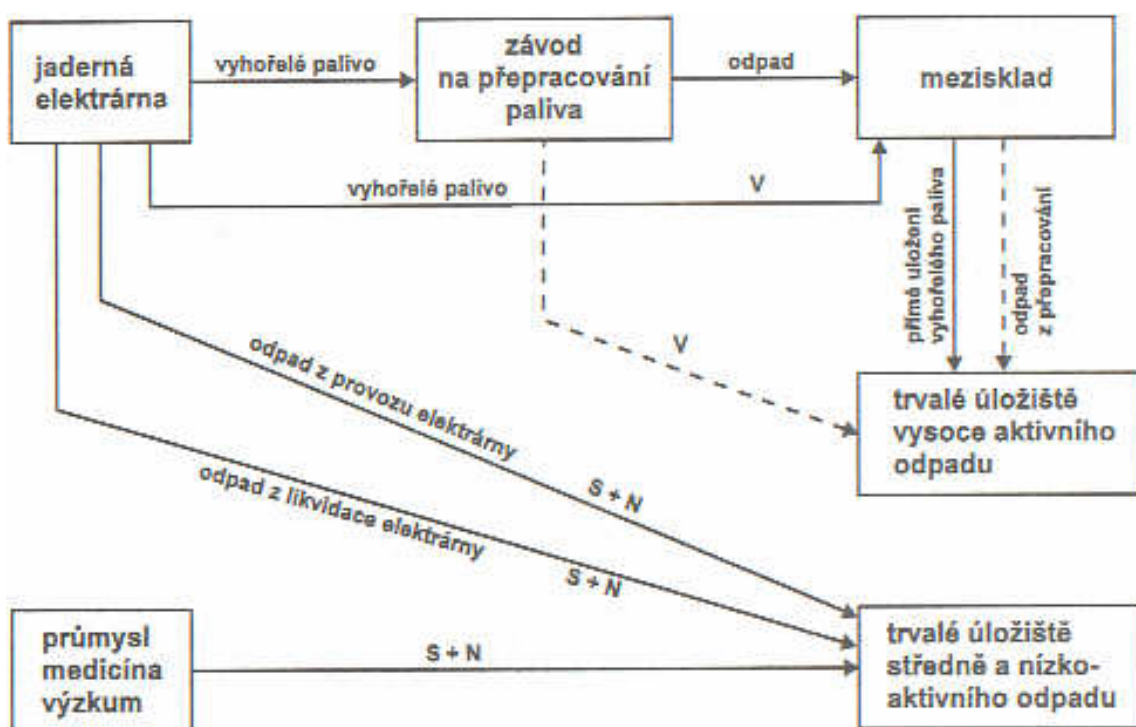


Obr. 3-3 Pohlčení jednotlivých druhů záření, lit [2]

4 ZPRACOVÁNÍ A NAKLÁDÁNÍ S RAO [3,12]

V České republice i ve světě podléhá jakákoliv manipulace s radioaktivním odpadem přísným bezpečnostním požadavkům. V JE Dukovany je od roku 1995 v neustálém provozu úložiště pro nízkoaktivní a středně aktivní odpad vyprodukovaný v areálu elektrárny Dukovany a JE Temelín. Jeho kapacita je 55 000 m³. Uložený odpad musí splňovat veškeré technické podmínky a uložení odpadu musí být schváleno Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

Protože úložiště pro RAO má omezenou kapacitu, prvotní důraz se klade na zmenšování objemu odpadu. To se nejvíce týká nízkoaktivních odpadů, které mají velký objem a nízkou aktivitu. Nejčastějšími technologiemi pro snižování objemu jsou lisování a spalování. Lit [3]



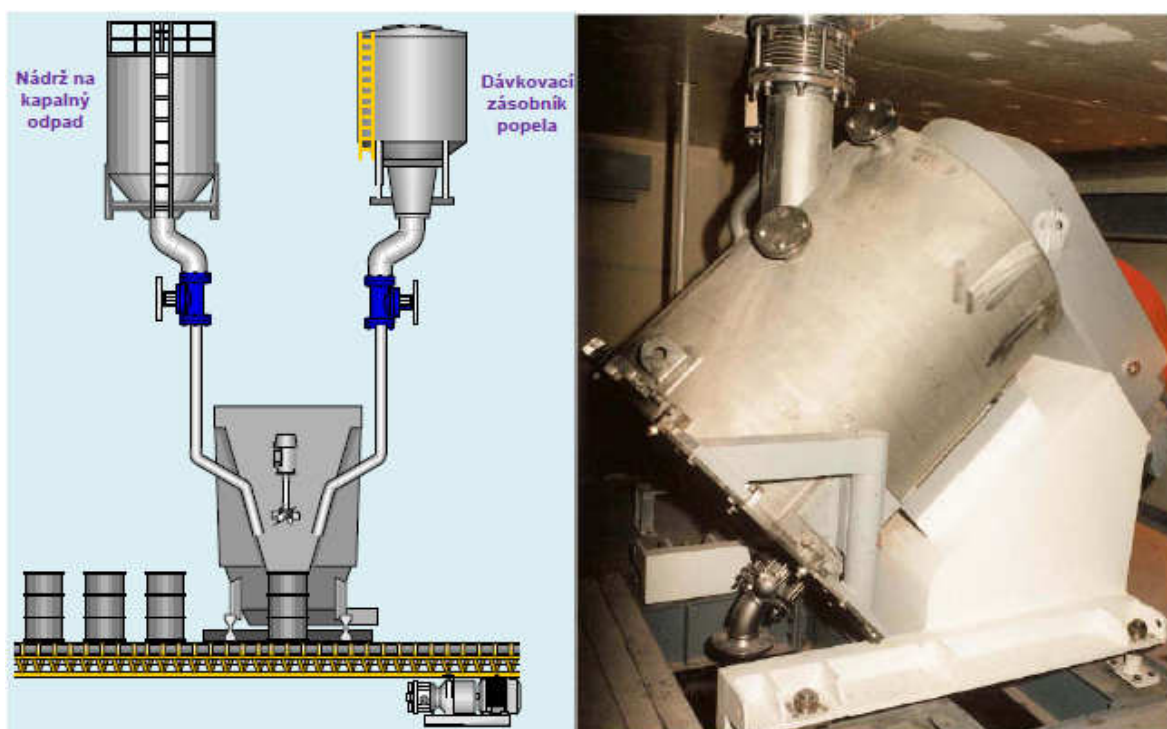
Obr 4-1 Koncepte nakládání s RAO, lit [3]

4.1 Zpracování kapalných RAO

4.1.1 Cementace

Cementace je jeden z nejpoužívanějších způsobů zneškodňování RAO, které vznikají v provozech jaderných elektráren. Princip této metody spočívá v navázání vody obsažené v rao cementem. Použití kapalného RAO je při výrobě betonových bloků. Největší nevýhodou cementace je zvětšení objemu výsledného produktu. I přesto je metoda velice využívána po celém světě a přináší řadu výhod, např.:

- Zpevnění RAO do cementu je levné
- Není potřeba složitého zařízení
- Výsledný produkt je stabilní, nehořlavý



Obr. 4-2 Cementační linka s mixérem, lit [3]

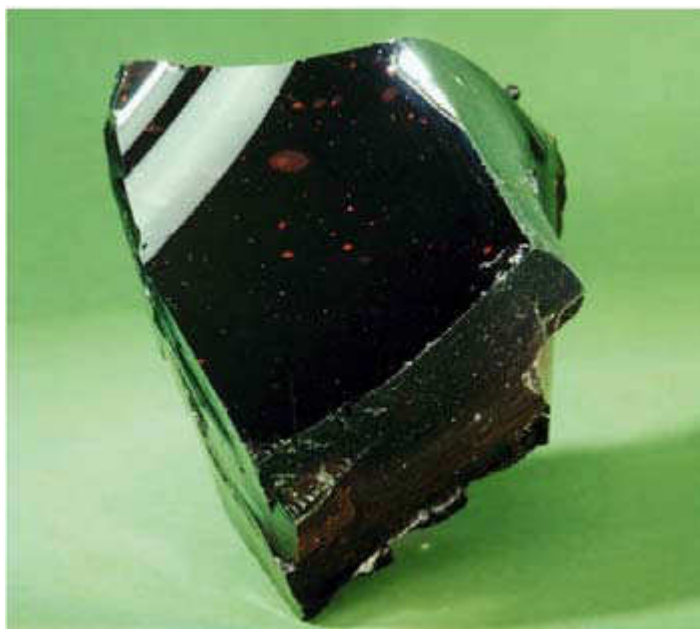
4.1.2 Bitumenace

Bitumen je organická látka, která se svými vlastnostmi podobá asfaltu. Kapalina z odpadu se odpaří a suchý zbytek se rozmíchá s roztaveným bitumenem nebo

s bitumenovou emulzí. Výhodou této metody je snížení objemu. Odpad je horkým procesem zbaven zbytkové vody. Nevýhoda spočívá v tom, že látka bitumen je hořlavá a vyžaduje speciální opatření při zacházení.

4.1.3 Vitřifikace

Z kapalného radioaktivního odpadu a sklovitých materiálů se vyrábí při teplotě 900 – 1200 °C speciální sklo nebo různá sklokeramika. Tato metoda vyžaduje poměrně složitou technologii. Výhodou je vysoká objemová redukce výsledného produktu a velmi nízká vyluhovatelnost.



Obr. 4-3, Výsledný produkt vitřifikace

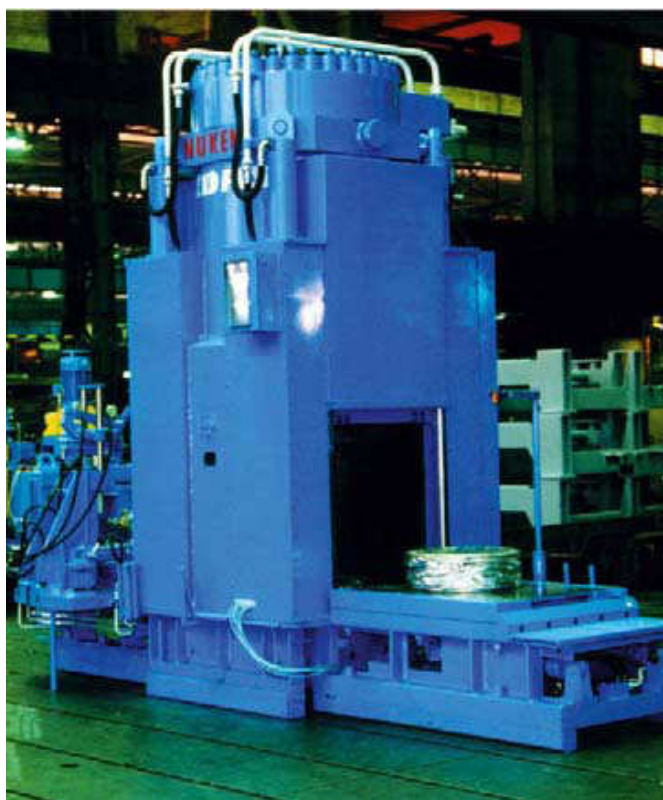
4.2 Zpracování pevných RAO

Nejčastější způsoby nakládání a zneškodňování RAO jsou lisování a spalování. Největší výhodou těchto metod je bezesporu zmenšení objemu odpadu. Pevný radioaktivní odpad se třídí podle svých charakteristických vlastností. Tento způsob nakládání umožní

průkaznější zjištění radionuklidů, kterými jsou odpady kontaminovány. Nejčastěji se třídí ručně, avšak někdy slouží k třídění i automatické stroje, které určují stupeň aktivity.

4.2.1 Lisování

Před konečnou úpravou se odpady lisují do sudů, jejichž objem je 200 litrů. Tyto sudy se pak pomocí vysokotlakého lisu opět slisují a výlisky jsou umístěny do tzv. „overpak“ sudů, které mají objem 300 – 400 litrů. Poté se ukládají do úložiště nízko a středně aktivních odpadů. Lisování odpadu je znázorněno na obr. 4-5.



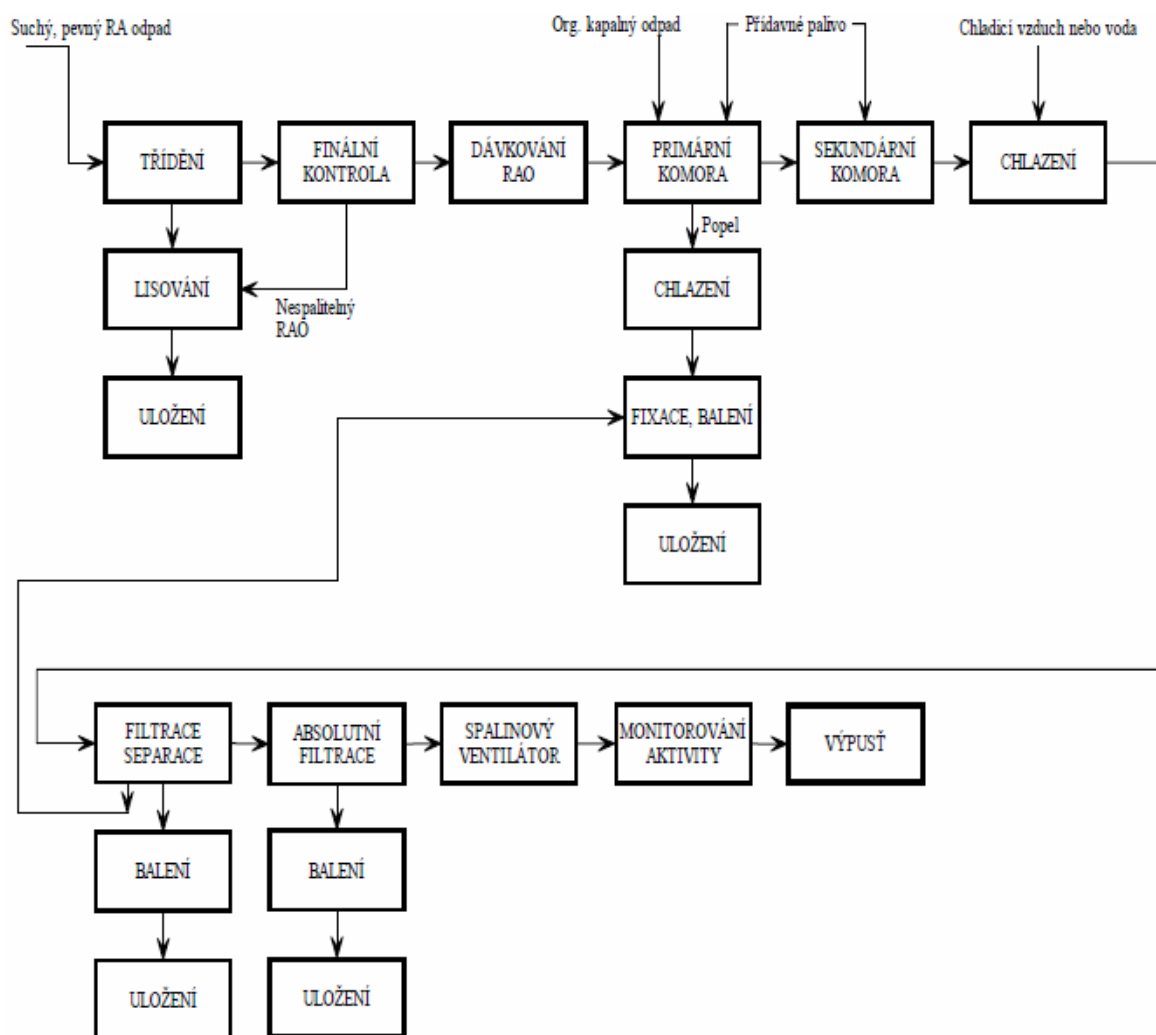
Obr. 4-5 Lisování radioaktivních odpadů, lit [3]

4.2.2 Spalování

Ze zkušeností je již známo, že cca 50 – 80% pevných RAO je spalitelných. Spalováním RAO docílíme stejně jako u lisování zmenšení objemu, ovšem výhodou je to, že spalováním získáme homogenní konečný produkt ve formě popela, který může být bez dalšího zpracování uložen do kontejnerů určených ke skladování a konečnému uložení.

Suchý odpad určený ke spalování musí být roztříděn a připraven v sudech. Většinou se proces spalování provádí v průmyslových spalovnách, které jsou vybaveny větším stupněm filtrace. Samozřejmostí je kontrola radioaktivity během celého provozu spalovny.

Výhřevnost pevného RAO se liší podle jeho složení. Každý odpad musí obsahovat nějaké procento hořlaviny. U některých odpadů je procento malé, a proto pokud požadujeme bezproblémové spalování odpadu, měla by se měnit teplota ve spalovacím prostoru právě v závislosti na spalovaném odpadu. Výhřevnosti některých druhů odpadů jsou uvedeny v tabulce 1.



Obr 4-6 Blokové schéma spalování nízkoaktivního RAO, lit [3]

Tab. 1, Výhřevnost vybraných druhů odpadů, lit [3]

Materiál	Výhřevnost [MJ/kg]
Papír	14
Přýž	35
Dřevo	15
PVC	20
Polyetylén	43
Polypropylén	44
Polyamid	30

Spalováním je možno odstranit i organické kapaliny, například oleje, mazadla nebo rozpouštědla, jejichž zpracování je obtížné. Vzniklé plyny je nutno jímat a naložit s nimi jako plynnými radioaktivními odpady.

4.3 Bezpečnost při spalování

Možnému riziku ionizujícího záření je vystaven každý člověk, ať už se jedná o přírodní nebo uměle vytvořené zdroje. Přírodní zdroje tvoří většinu všech zdrojů, okolo 70%.

Jaderná bezpečnost má za úkol udržet radiační expozici na co nejnižší úrovni. A to platí nejen v případě normálního provozu jaderné elektrárny, ale i v případě havárie. A jak se již před rokem ukázalo v japonské Fukušimě, je třeba myslet i na ty nejhorší přírodní katastrofy a důsledky, které mohou způsobit.

Při manipulaci se spalitelným odpadem nebo se zbytky vzniklé spalováním může dojít k ozáření personálu. Limit hloubkového dávkového ekvivalentu je 50 mSv a povrchového dávkového ekvivalentu je 500 mSv. Odpady se proto rozdělují podle různých kategorií a aktivity:

- Odpady α
- Odpady β, γ s nevýrazným podílem aktivity α

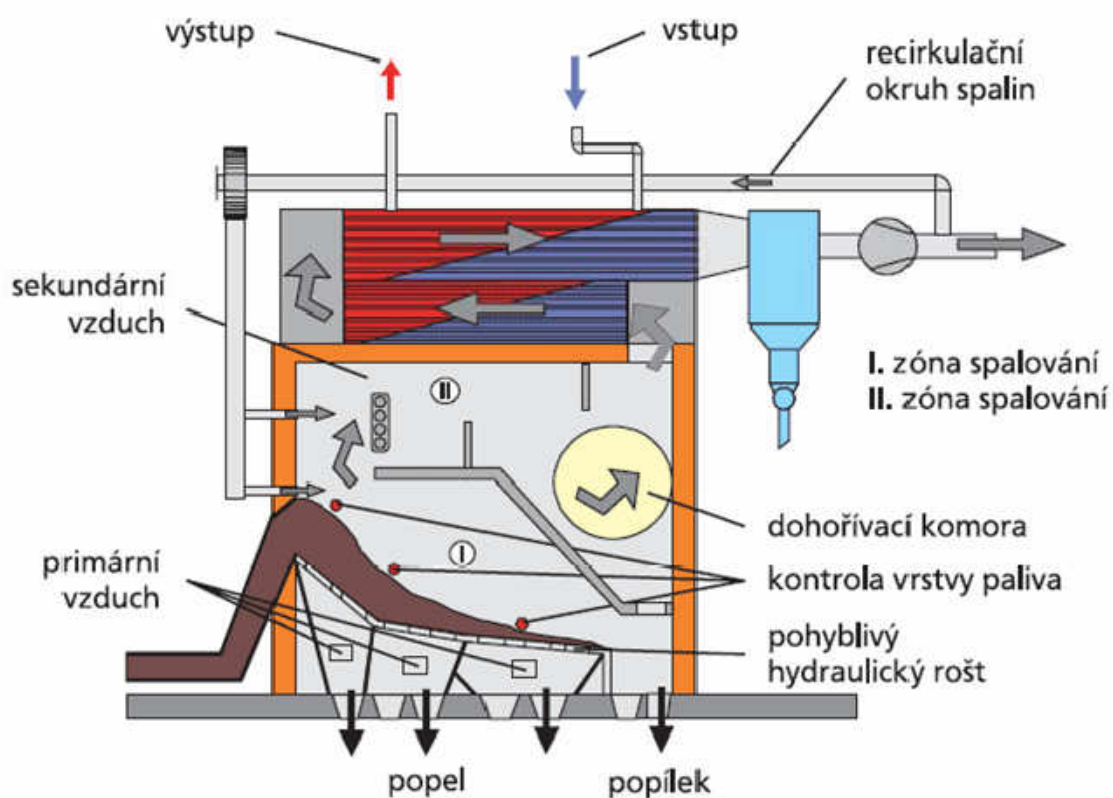
- Směs odpadů (radioaktivní a toxické)

Abychom zajistili požadovanou ochranu pracovníků, obyvatelstva a okolí, dbáme na bezpečnost v oblasti:

- Výběru lokality
- Projekci a samotné výstavbě zařízení
- Při provozu a údržbě
- Havarijní plány a následná připravenost při možné havárii

5 NÁVRH SPALOVACÍ KOMORY S PŘESUVNÝM ROŠTEM

Pro spalování odpadů se používají zpravidla dvě varianty spalovacího zařízení, válcové rotační pece nebo roštová ohniště. Pro svou práci volím spalovací komoru s přesuvným roštem, která je rozdělena na spalovací a dohořivací část. Zjednodušené schéma tohoto typu spalovacího zařízení je znázorněno na obr 5-1.



Obr. 5-1 Spalovací komora s přesuvným roštem, lit [3]

Pec je rozdělena komorami na spalovací a dopalovací část, podle přívodu primárního a sekundárního vzduchu. Všechny ovládací prvky jsou umístěny na ocelové konstrukci. V přední části jsou hydraulicky ovládané plnicí dveře. Ty zaručují i potřebný provozní podtlak. Pod dveřmi je otvor pro hydraulický rošt. Ve spodní části je umístěn vynašeč popela. Sekundární vzduch se přivádí pomocí dvou ventilátorů v horní části pece.

Odpad je spalován ve spodní spalovací komoře a dopalovací komora slouží k dopalování organických složek.

Spalování odpadů je založeno na dvou principech:

- **spalování klasické**, odpad je spalován ve spodní spalovací komoře a dopalovací komora slouží k dopalování organických složek,
- **spalování pyrolytické**, kde zplyňování probíhá ve spalovací komoře pomocí zplyňovacího hořáku za nedostatku vzduchu. Vzniklý poloplyn spolu s prchavými látkami postupuje do dopalovací komory, kde se promísí se spalovacím vzduchem. Pomocí dohořivacího hořáku dochází k zapálení a vyhořívání směsi.

Rošt pece je ocelový, ve kterém pohyb roštnic zajišťují přímočaré hydromotory. Do prostoru pod roštnice je dodáván řízený primární spalovací vzduch pomocí ventilátorů.

Spalovací pece je možné vybavit automatickým hořákem na spalování kapalného odpadu

5.1 Vyzdívky spalovací a dopalovací komory

Při volbě vyzdívek spalovací a dopalovací komory jsem vycházel ze zadaných teplot v průběhu spalovacího procesu. Vyzdívky musí splňovat všechny teplotní a pevnostní podmínky. Musíme brát v úvahu všechny možné chemické reakce, ke kterým může v průběhu spalování docházet.

Jako základní zdivo jsem použil materiál s označením STV, jedná se o tvrdý šamot, který je určen právě k vyzdívání stěn mnoha tepelných agregátů. Použití do teplot 1450 ° je pro mou práci plně dostačující, protože maximální teploty v průběhu spalování dosahují 1300 °C. Mezi další použité materiály a izolační prvky patří Fiberfrax Duraboard, NOVOBET 1450, Izobet, tepelná izolace ORSIL a termalitové cihly. Jednotlivé rozměry použitých vyzdívek a izolačních materiálů jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci.

5.1.1 Fiberfrax Duraboard

Dřívější označení těchto desek, rohoží, tvarovek a modulů bylo SIBRAL desky. Vyráběly se ve dvou základních variantách standart a super. Jednotlivé označení určovalo maximální teplotu, v kterých se daly tyto materiály použít.

Dnes je označení těchto materiálů FIBERFRAX Duraboard. Pro svou práci volím desky FIBERFRAX Z, které se mohou použít do teplot 1400 °C. Desky jsou vyrobeny ze žáruvzdorných keramických vláken, smíchaných se speciálně vybranými anorganickými a organickými pojivy. Výsledkem výborné izolační vlastnosti s vynikající pevností a tuhostí. Navíc jsou stabilní i při vysokých teplotách. Tyto desky se nabízejí v široké škále velikostí a tloušťek. Typické aplikace, kde se dají tyto desky použít, jsou tepelné štíty, vysokoteplotní vyzdívky pecí, žáruvzdorné těsnění apod. Materiál volím dle literatury [4].

Tab. 2, chem. složení materiálu Fiberfrax, lit [4]

Typické chemické složení (hm. %)	
SiO ₂	52 – 56
Al ₂ O ₃	28 – 32
ZrO ₂	14 – 18
Fe ₂ O ₃	< 0.2
Alkálie	< 0.25

Tab. 3, tepelná vodivost materiálu Fiberfrax, lit. [4]

Tepelná vodivost (W/m·K)	
Střední teplota	
800 °C	0,16
1000 °C	0,20
1200 °C	0,26

5.1.2 Izobet 1150/1,0 a 1300/1,6V

Jedná se o izolační žárobeton na bázi lehčeného šamotu. Údaj před lomítkem udává maximální teplotu, pro kterou lze materiál použít. V mém případě jsem zvolil IZOBET

1150/1 pro vyzdívku spalovací komory, kde dosahují teploty maximálně 1200 °C. Vrstva IZOBET je překryta ještě dalším materiálem, aby nebyla v případě dosažení maximální teploty ohrožena pevnost a mechanické vlastnosti tohoto materiálu. V dopalovací komoře jsem zvolil IZOBET 1300/1,6V, která je odolná až do teploty 1310 °C.

Volím dle katalogového listu firmy PRŮMYSLOVÁ KERAMIKA, spol. s.r.o., který je uveden v příloze 1. Lit [6]

5.1.3 STV

Tento materiál jsem použil jako základní zdivo ve spalovací a dopalovací komoře. Jedná se o tvrdý šamot, který se využívá zejména pro vyzdívání stěn, kleneb nebo jiných částí zdiva tepelných agregátů. Výhodou je možnost využití ve více namáhaných provozech do teplot až 1450 °C, což je pro mou práci plně dostačující. Lit [5].

5.1.4 Novobet 1450

Jedná se o nízkocementový žárobeton a klasifikační teplotou 1450 °C. Tento seriál je vyroben na bázi nízkoželezitého šamotu. Použití je vhodné zejména pro žáruvzdorné vyzdívky s vysokými mechanickými pevnostmi. Výhodou tohoto materiálu je odolnost vůči agresivním složkám spalin.

Materiál volím dle katalogového listu firmy PRŮMYSLOVÁ KERAMIKA, spol. s.r.o., který je uveden v příloze 2. Lit [7]

5.1.5 Tepelná izolace ORSIL

Výroba této izolace spočívá v rozvlákňování taveniny směsi hornin a dalších příměsí a přísad. Největší přednosti tohoto materiálu jsou:

- Vysoká protipožární odolnost
- Ekologická a hygienická nezávadnost
- Dlouhá životnost
- Snadná opracovatelnost

Izolace byla vyvinuta na základě dlouhodobého vývoje v laboratořích a sledování požadavků trhu. Pro svou práci volím tloušťku izolace 40 mm, jak je uvedeno ve výkresové dokumentaci.

Mezi další materiály použité při návrhu vyzdívek patří materiály s označením LCCA a SFL 145, které jsou svými vlastnostmi podobné materiálu NOVOBET 1450. Jedná se nízkocementový žárobeton s využitím rovněž do teplot 1450 °C.

Ve výkresové dokumentaci jsou uvedeny všechny potřebné rozměry vyzdívek.

5.2 Výpočet

Výpočet je proveden pro modulový odpad, jehož složení je uvedeno v tabulce 4. Cílem výpočtu je určení objemového průtoku spalin pro následnou volbu správného typu pračky spalin a dále dobu setrvání spalin v dohořívací komoře.

Tab. 4, složení RAO odpadu

	Složení v %	Qi [MJ/kg]
Papír	12	14,07
Dřevo	38	14,88
Pryž	4	34,92
PVC	17	20
Polyethylen	10	43,5
Polypropylen	9	44
Polyamid	10	28,5

Výhřevnost odpadu

$$Q_c = \sum m \cdot Q_i \quad (5.1)$$

$$Q_c = 0,12 \cdot 14,07 + 0,38 \cdot 14,88 + 0,04 \cdot 34,92 + 0,17 \cdot 20 + 0,1 \cdot 43,5 + 0,09 \cdot 44 + 0,1 \cdot 28,5$$

$$Q_c = 23,299 \text{ MJ / kg}$$

5.2.1 Určení spotřeby spalovacího vzduchu

Pro výpočet základních vztahů jsem vycházel z předpokladu neznámého složení paliva. Teoretickou spotřebu spalovacího vzduchu a teoretický objem suchých spalin určím přibližně jako funkci výhřevnosti, podle některých empirických vztahů. Počítám podle ROSINA-FRESLINGA. Potřebné konstanty určím dle tabulky 5. Vycházím z literatury [8].

Tab. 5, Konstanty K_1 – K_4 pro jednotlivé druhy paliv, lit [8]

PALIVA	K_1 $(m^3 kg^{-1}(kJ kg^{-1})^{-1})$	K_2 $(m^3 kg^{-1})$	K_3 $(m^3 kg^{-1}(kJ kg^{-1})^{-1})$	K_4 $(m^3 kg^{-1})$
<i>Tuhá</i>	1,012	0,5	0,95	1,375
<i>Kapalná</i>	0,85	2,0	1,11	0
<i>Plynná</i>	-	-	-	-
<i>Nízkovýhřevná</i> $Q < 12,6 MJ/kg$	0,92	0,08	0,76	0,87
<i>Vysokovýhřevná</i> $Q > 12,6 MJ/kg$	1,07	0	1,09	0,47

Teoretické množství suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vz,s \min} = 1,012 \cdot \frac{Q_c}{4186,7} + 0,5 \quad (5.2)$$

$$V_{vz,s \min} = 1,012 \cdot \frac{23299}{4186,7} + 0,5$$

$$V_{vz,s \min} = 6,132 m_N^3 / kg$$

Skutečné množství vlhkého spalovacího vzduchu

$$V_{vz,s}^v = n \cdot \kappa_v \cdot V_{vz,s} \min \quad (5.3)$$

$$V_{vz,s}^v = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 6,132$$

$$V_{vz,s}^v = 9,965 \text{ m}_N^3 / \text{kg}$$

$$\kappa_v = 1 + \frac{\varphi}{100} \cdot \frac{p''}{p_c - \frac{\varphi}{100} \cdot p''} \quad (5.4)$$

$$\kappa_v = 1 + \frac{20}{100} \cdot \frac{0,1}{0,101325 - \frac{20}{100} \cdot 0,1}$$

$$\kappa_v = 1,25$$

5.2.2 Určení množství spalin

Teoretické množství suchých spalin

$$V_{sp,t}^s = 0,95 \cdot \frac{Q_c}{4186,7} + 1,375 \quad (5.5)$$

$$V_{sp,t}^s = 0,95 \cdot \frac{23299}{4186,7} + 1,375$$

$$V_{sp,t}^s = 6,662 \text{ m}_N^3 / \text{kg}$$

Teoretické množství vlhkých spalin

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot H_2 + \frac{22,4}{18} \cdot w + (\kappa - 1) \cdot V_{vz,s} \min \quad (5.6)$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,0785 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,0547 + (1,25 - 1) \cdot 6,132$$

$$V_{H_2O} = 2,48 \text{ m}_N^3 / \text{kg}$$

$$V_{sp,t}^v = V_{sp,t}^s + V_{H_2O} = 6,662 + 2,48 = 9,142 \text{ m}_N^3 / \text{kg} \quad (5.7)$$

Skutečné množství vlhkých spalín

$$V_{sp,s}^v = V_{sp,t}^v + (n-1) \cdot V_{vz,s}^s \quad (5.8)$$

$$V_{sp,s}^v = 9,142 + (1,3-1) \cdot 9,965$$

$$V_{sp,s}^v = 12,132 m_N^3 / kg$$

Teoretické množství suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vz,t,pl}^s = 0,92 \cdot \frac{Q_p}{4186,7} \quad (5.9)$$

$$V_{vz,t,pl}^s = 0,92 \cdot \frac{119000}{4186,7}$$

$$V_{vz,t,pl}^s = 26,15 m_N^3 / m_N^3$$

Skutečné množství vlhkého spalovacího vzduchu

$$V_{vz,s,pl}^v = n_p \cdot \kappa_v \cdot V_{vz,t,pl}^s \quad (5.10)$$

$$V_{vz,s,pl}^v = 1,1 \cdot 1,25 \cdot 26,15$$

$$V_{vz,s,pl}^v = 35,96 m_N^3 / m_N^3$$

5.2.3 Určení množství spalín z plynu

Teoretické množství suchých spalín

$$V_{sp,t,pl}^s = 1,09 \cdot \frac{Q_p}{4186,7} + 0,47 \quad (5.11)$$

$$V_{sp,t,pl}^s = 1,09 \cdot \frac{119000}{4186,7} + 0,47$$

$$V_{sp,t,pl}^s = 31,45 m_N^3 / m_N^3$$

Teoretické množství vlhkých spalín

$$V_{H_2O} = \omega_{H_2O} + (\kappa-1) \cdot V_{vz,t,pl}^s \quad (5.12)$$

$$V_{H_2O} = 15,1 + (1,25-1) \cdot 26,15$$

$$V_{H_2O} = 21,64 m_N^3 / m_N^3$$

$$V_{sp,t,pl}^v = V_{sp,t,pl}^s + V_{H_2O} \quad (5.13)$$

$$V_{sp,t,pl}^v = 31,45 + 21,64$$

$$V_{sp,t,pl}^v = 53,09 \text{ m}_N^3 / \text{m}_N^3$$

Skutečné množství vlhkých spalin

$$V_{sp,s,pl}^v = V_{sp,t,pl}^v + (n-1) \cdot V_{vz,s,pl}^v \quad (5.14)$$

$$V_{sp,s,pl}^v = 53,09 + (1,1-1) \cdot 35,96$$

$$V_{sp,s,pl}^v = 56,686 \text{ m}_N^3 / \text{m}_N^3$$

$n = 1,1$... přebytek vzduchu pro plyn

Určení celkového normálního průtoku spalin

Odpad bude spalován v intervalech 3min, váha jedné dávky odpadu 5,5 kg což odpovídá teoreticky výkonu 110 kg/hod.

$$V_{sp,c,n} = V_{sp,s}^v \cdot \frac{m}{\tau} + V_{sp,s,pl}^v \cdot \dot{V}_p \quad (5.15)$$

$$V_{sp,c,n} = 12,132 \cdot \frac{5,5}{180} + 56,686 \cdot 0,006$$

$$V_{sp,c,n} = 0,7108 \text{ m}_N^3 / s \doteq 0,8 \text{ m}_N^3 / s$$

kde:

$m = 5,5 \text{ kg}$... dávka odpadu

$\tau = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$... časový interval

$\dot{V}_p = \text{volím } 0,006$... průtok plynu do hořáku

5.3 Spalovací komora

Celkový tepelný příkon v odpadu

$$P_p = \dot{m}_{pal} \cdot Q_c \quad (5.16)$$

$$P_p = \frac{110}{3600} \cdot 23,299$$

$$P_p = 0,712 \text{ MW}$$

Tepelný příkon v plynu

$$P_{p,pl} = \dot{V}_p \cdot Q_p \quad (5.17)$$

$$P_{p,pl} = 0,006 \cdot 119$$

$$P_{p,pl} = 0,714 \text{ MW}$$

Bilanční rovnice

Teplo odvedené spaliny za čas

$$P_{sp} = P_p + P_{p,pl} \quad (5.18)$$

$$P_{sp} = 0,712 + 0,714$$

$$P_{sp} = 1,426 \text{ MW}$$

Objemový tok vlhkých spalin z odpadu

$$\dot{V}_{sp,obj} = \dot{V}_{sp,s}^v \cdot \dot{m}_{pal} \quad (5.19)$$

$$\dot{V}_{sp,obj} = 12,132 \cdot \frac{110}{3600}$$

$$\dot{V}_{sp,obj} = 0,371 \text{ m}_N^3 / \text{s}$$

Objemový tok vlhkých spalin z plynu

$$V_{sp,obj,pl} = V_{sp,s,pl}^v \cdot \dot{V}_p \quad (5.20)$$

$$V_{sp,obj,pl} = 56,686 \cdot 0,006$$

$$V_{sp,obj,pl} = 0,34 \text{ m}_N^3 / \text{s}$$

Výpočet teploty spalin za SK

$$\dot{m}_{pal} \cdot Q_c + \dot{V}_p \cdot Q_p = V_{sp,obj} \cdot c_{sp} \cdot t_{sp1} \cdot (1 + z_1) + V_{sp,obj,pl} \cdot c_{sp} \Rightarrow t_{sp1} \quad (5.21)$$

$$t_{sp1} = \frac{\dot{m}_{pal} \cdot Q_c + \dot{V}_p \cdot Q_p}{V_{sp,obj} \cdot c_{sp} \cdot (1 + z_1) + V_{sp,obj,pl} \cdot c_{sp}}$$
$$t_{sp1} = \frac{\frac{110}{3600} \cdot 23299 + 0,006 \cdot 119}{0,371 \cdot 1,7 \cdot (1 + 0,3) + 0,34 \cdot 1,7}$$
$$t_{sp1} = 1020,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Skutečný tok vlhkých spalin za spalovací komorou

$$\dot{V}_{sp,s,sk} = (V_{sp,obj} + V_{sp,obj,pl}) \cdot \frac{T_{sp1}}{T_N} \quad (5.22)$$

$$\dot{V}_{sp,s,sk} = (0,371 + 0,34) \cdot \frac{(1020,03 + 273,15)}{273,15}$$

$$\dot{V}_{sp,s,sk} = 3,37 \text{ m}_N^3 / \text{s}$$

⇒ Množství spalin vstupujících do DK, kde musí setrvat po dobu minimálně 2 s

5.4 Objem dohořívací komory a doba setrvání spalin v DK

Výpočet teploty spalin za DK

$$(\dot{V}_{sp,obj} + \dot{V}_{sp,obj,pl}) \cdot t_{sp1} \cdot c_{sp} = (\dot{V}_{sp,obj} + \dot{V}_{sp,obj,pl}) \cdot t_{sp2} \cdot c_{sp} \cdot (1 + z_2) \Rightarrow t_{sp2} \quad (5.23)$$

$$t_{sp2} = \frac{t_{sp1}}{1 + z_2}$$

$$t_{sp2} = \frac{1020,03}{1 + 0,02}$$

$$t_{sp2} = 1000,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- výpočet je proveden z bilanční rovnice pro dohořívací komoru

5.4.1 Rozměry dohořivací komory

Dohořivací komora je ve tvaru kvádru, což je rozhodující pro výpočet potřebného a skutečného objemu DK. Skutečný objem DK musí být větší než potřebný objem DK. Další parametry potřebné k správnému výpočtu DK jsou rychlost proudění spalin, průřez DK a kontrola doby zdržení spalin v DK. Rozměry dohořivací komory bez vyzdívek jsou následující:

- *délka* $l = 5300$ mm
- *výška* $v = 1036$ mm
- *šířka* $b = 1442$ mm

Skutečný objem DK

$$V_{DK,s} = l \cdot v \cdot b \quad (5.24)$$

$$V_{DK,s} = 5300 \cdot 1036 \cdot 1442$$

$$V_{DK,s} = 7918 \text{ mm}^3 = 7,92 \text{ m}^3$$

Skutečné množství spalin v DK při teplotě t_{sp2}

$$\dot{V}_{sp,s,DK} = (V_{sp,obj} + V_{sp,obj,pl}) \cdot \frac{T_{sp2}}{T_N} \quad (5.25)$$

$$\dot{V}_{sp,s,DK} = (0,371 + 0,34) \cdot \frac{(1000,03 + 273,15)}{273,15}$$

$$\dot{V}_{sp,s,DK} = 3,31 \text{ m}^3 / \text{s}$$

5.4.2 Proudění spalin

Průřez DK

$$S_{DK} = v \cdot b \quad (5.26)$$

$$S_{DK} = 1,036 \cdot 1,442$$

$$S_{DK} = 1,494 \text{ m}^2$$

Rychlost proudění spalin

$$w_{sp,DK} = \frac{V_{sp,s,DK}}{S_{DK}} \quad (5.27)$$

$$w_{sp,DK} = \frac{3,31}{1,494}$$
$$w_{sp,DK} \doteq 2,3 \text{ m / s}$$

Kontrola doby zdržení spalin

$$\tau_{DK,s} = \frac{l}{w_{sp,DK}} \quad (5.28)$$

$$\tau_{DK,s} = \frac{5,3}{2,3}$$
$$\tau_{DK,s} = 2,3 \text{ s}$$

Do dohořivací komory vstupuje $3,37 \text{ m}^3$ spalin za sekundu, doba setrvání spalin v DK je $2,3 \text{ s}$. Potřebný objem DK se mění v závislosti na požadovaném výkonu, resp. na dávkování paliva v časovém intervalu a hmotnosti jedné dávky paliva. Pro můj výkon je tedy potřebný objem DK následující:

$$V_{DK,potr} = \dot{V}_{sp,s,SK} \cdot t \quad (5.29)$$

$$V_{DK,potr} = 3,37 \cdot 2,3$$

$$V_{DK,potr} = 7,7 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{platí, že } V_{DK,potr} < V_{DK,s}$$

Pro vypočítaný teoretický výkon 110 kg/hod je potřebný objem dohořivací komory $7,7 \text{ m}^3$. Skutečný objem dohořivací komory je $7,92 \text{ m}^3$, tzn., že pro zvolený výkon je objem DK vyhovující, nicméně rezerva není příliš velká.

5.5 Výměník tepla

Výkon výměníku tepla je závislý na množství a výhřevnosti spalovaného odpadu. Volím tedy výměník spaliny/voda. Zařízení musí být v provozu po celou dobu činnosti pece, neboť odebírá teplo spalinám a zajišťuje jejich optimální teplotu pro vstup do ekobloku čištění spalin.

Vstupní teplota spalin do výměníku tepla je 1000 °C, ochlazené spaliny mají teplotu 250 °C, což je zároveň vstupní teplota do prvního stupně pračky spalin

6 ČIŠTĚNÍ SPALIN

Spalovacím systémem proházejí spaliny o vysokých teplotách okolo 1000 °C. V mém případě jsou radioaktivní a jejich aktivita je unášena pevnými částicemi a prchavými složkami. Spaliny proudící spalovacím systémem obsahují:

- TZL
- Anorganické sloučeniny chloru, fluoru
- Organické látky
- CO, SO₂, NO_x
- Obsah rtuti, thallia, kadmia, arzenu, niklu, chromu, kobaltu, olova, mědi, manganu a jejich sloučeniny

Vysoká teplota spalin vystupujících z pece musí být redukována na teplotu, při níž je možné zajistit jejich čištění. Spaliny procházejí výměníkem, v mém případě chladičem, který ochladí spaliny na teplotu okolo 200 – 250 °C. Nejdříve se odloučí hrubé nečistoty a následně jsou vedeny do dalšího stupně čištění.

Provoz čištění spalin je spojen s problémy s korozí a problémy provozního charakteru. Z toho vyplývají vysoké pořizovací náklady na pořízení celého systému. Avšak v dnešní době, kdy je kladen velký důraz na čistotu ovzduší, ochranu životního prostředí a neustále se snižující emisní limity, je proces čištění spalin nezbytně nutný.

6.1 Metody čištění spalin

V odsiřovacích procesech dochází k odstranění SO₂ i škodlivin kyselého charakteru, tedy chlorovodíku HCl a fluorovodíku HF. Metody čištění spalin rozdělujeme z 2 hledisek do několika skupin:

Rozdělení dle regenerace činidla:

- **regenerační** - aktivní látka se po reakci s oxidem siřičitým regeneruje a vrací zpět do procesu, oxid siřičitý se dále zpracovává

- **neregenerační** - aktivní látka reaguje s SO₂ na dále využitelný nebo nevyužitelný produkt a zpět do procesu se nevrací

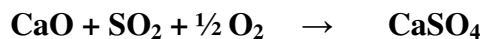
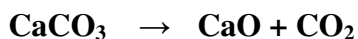
Rozdělení dle fáze:

- **mokrý** - SO₂ se zachycuje v kapalině nebo vodní suspenzi aktivní látky
- **polosuchý** - aktivní látka je ve formě vodní suspenze vstřikována do proudu horkých spalin, kapalina se poté odpaří a produkt reakce se zachycuje v tuhém stavu
- **suchý** - SO₂ reaguje s aktivní látkou v tuhém stavu [citace]

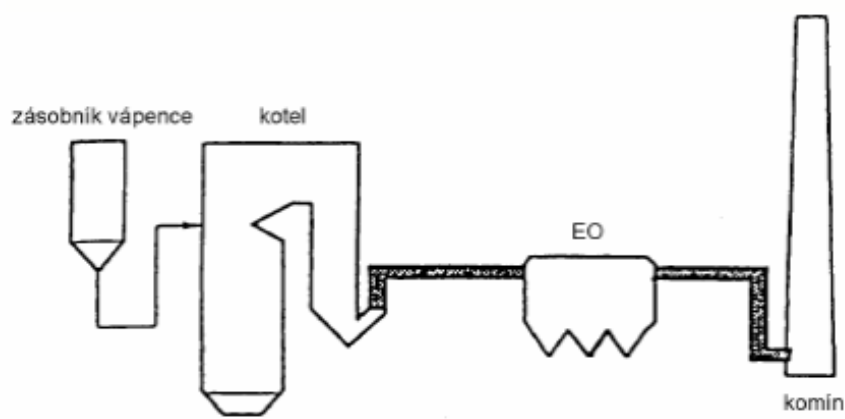
6.2 Suchý proces čištění spalin

Spaliny jsou z kotle vedeny do reaktoru. Suchou aktivní látkou je jemně mletý vápenec, který je vháněn do proudu spalin. Škodliviny kyselého charakteru (HF, HCl) reagují na povrchu pevných částic za vzniku fluoridů a chloridů.

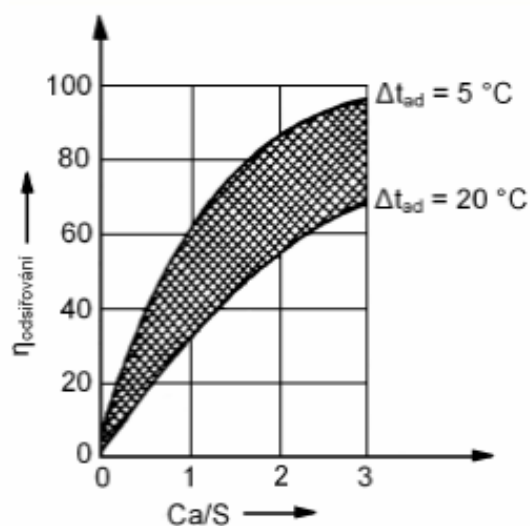
Při procesu probíhají reakce:



Suché produkty se zachycují na tkaninovém filtru. Nevýhodou je vznik velkého množství tuhých emisí. Jen stěží lze dosáhnout předepsaných emisních hodnot. Taktéž účinnost této metody je minimální, proto je tento proces čištění spalin téměř nevyužitelný.



Obr. 6-1, Schéma suché metody čištění spalin

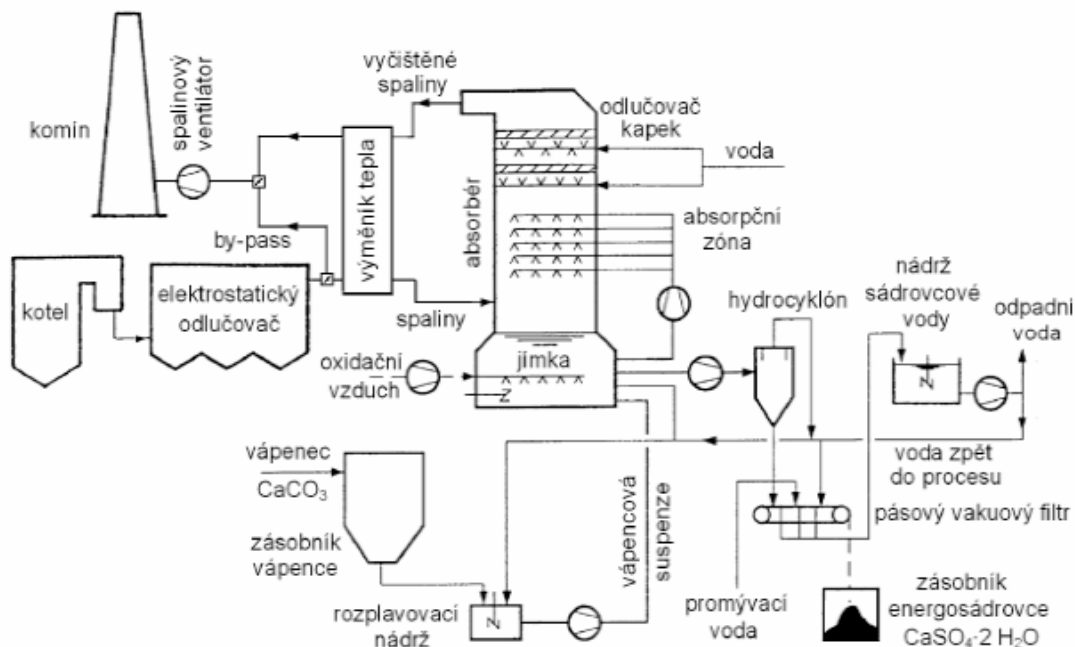


Obr. 6-2, Účinnost odsířování suché metody

6.3 Mokrý proces čištění spalin

Tento způsob čištění spalin je nejrozšířenější nejen v Evropě, ale také v USA a Japonsku. Princip metody spočívá ve vypírání spalin různými sorbenty (nejčastěji s přidavkem vápenného mléka nebo hydroxidu sodného). Abychom zabránili zanášení trysek a sorbentu, je důležité v prvním stupni čištění zbavit spaliny pevných prachových částic. Toho docílíme pomocí elektrostatických odlučovačů nebo tkaninových filtrů. Poté jsou spaliny vedeny do druhého stupně čištění, kde dochází k neutralizaci plyných kontaminujících látek.

Produkty této metody čištění spalin jsou účinně přečištěné plynné spaliny a znečištěná prací kapalina. V případě spalování RAO hrozí únik radioaktivních látek do vody, proto je nutná likvidace znečištěné kapaliny ve speciálních zařízeních. Schéma mokré metody čištění spalin je znázorněno na obr.

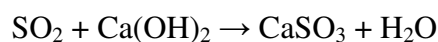


Obr. 6-3, Schéma mokré metody čištění spalin

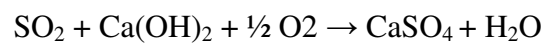
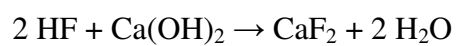
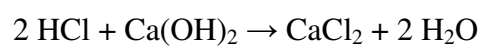
6.4 Polosuchý proces čištění spalin

Přednosti polosuchého procesu čištění spalin oproti mokré metodě spočívají v jednoduchosti a menších investičních nákladech. Jako aktivant se používá vápno. Princip metody spočívá ve vytvoření jemné mlhy suspenze. To zaručují speciálně konstruované trysky. Touto mlhou procházejí spaliny a oxidy síry jsou vázány na mokrý vápenec. Poté se ve tkaninovém filtru musí zachytit granule suchého zreagovaného vápence. Účinnost polosuché metody je obvykle do 90% v závislosti na dosažení optimálních teplot zchlazených spalin.

Při kontaktu spalin a suspenze dochází k odpaření vody ze suspenze a spaliny se ochladí na optimální teplotu reakce dle chemické rovnice:

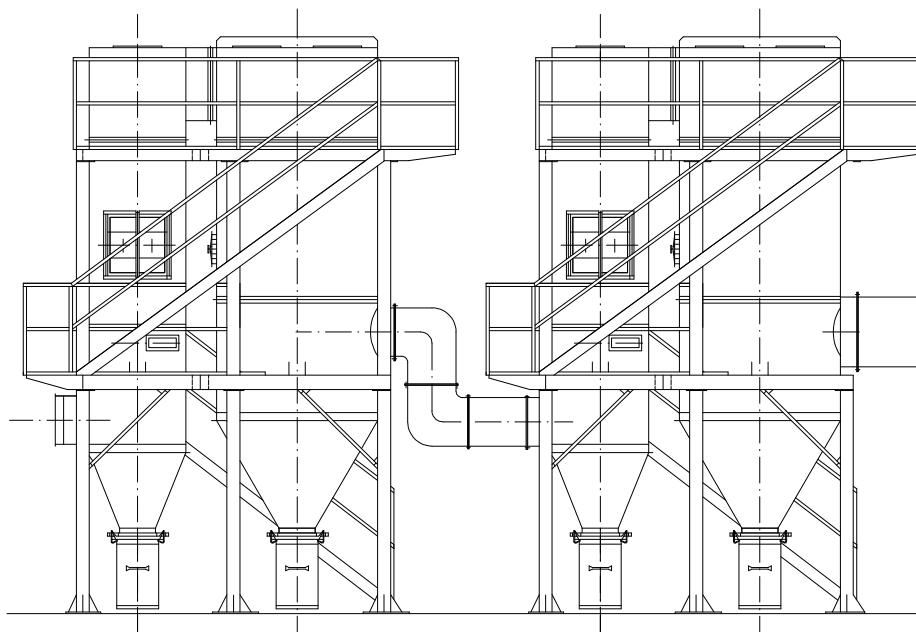


Chemické reakce závislé na přenosových jevech:



7 NÁVRH PRAČKY SPALIN

Pro svou práci jsem si zvolil pračku spalín typu PV – F800 od firmy Fornax a.s., která využívá princip vypírky spalín polosuchou metodou. Aby bylo dosaženo co nejdelší reakční doby spalín se sorbentem, volím použití dvoustupňové pračky spalín, které je znázorněno na obr. 7.1.



Obr. 7.1, Dvoustupňová polosuchá pračka spalín, [9]

7.1 Charakteristika pračky

Pračka je vhodná pro čištění spalín ze spaloven odpadů a z kotlen na tuhá a kapalná paliva. Jsou zaměřeny na čištění spalín na bázi SO_2 , oxidů těžkých kovů, HCl , HF a také dioxinů a furanů. Pokud jsou spaliny hodně znečištěné, je možnost zařadit do série dvě pračky. Dosáhneme tím větší účinnosti vypírky. Součástí každého zařízení je nádrž na sorbent. Je opatřena dávkovacími čerpadly a míchadlem.

Hlavními přednostmi tohoto zařízení jsou:

- Snížení obsahu SO₂, oxidů těžkých kovů, HCl, HF a také dioxinů a furanů
- Odstranění prachových částic tkaninovým filtrem, který je součástí technologie
- Neprodukuje žádné odpadní vody
- Relativně nízké investiční náklady
- Vysoká spolehlivost
- Jednoduchá údržba
- Minimální spotřeba náhradních dílů [10]

Pro nouzovou ochranu filtrační tkaniny slouží přisávací klapka studeného vzduchu, která je umístěna na výstupním kouřovodu mezi pračkou a filtrem. Kouřovody, kterými v celém procesu proudí spaliny, jsou vyrobeny z ocelových svařenců.

Doprava sorbentu do nádrže i jeho příprava je jeden samostatný celek. Je vybaven ovládacím panelem a základní regulace je řízena v závislosti na teplotě spalin na vstupu a výstupu. Vstupní teplota je snímána pro všechny reaktory společně. Teplota na výstupu se snímá pro každý reaktor zvlášť. Lit [9]

Tabulka 6, Souhrn technických údajů polosuché pračky spalin typu PV-F 800, lit [9]

Typ zařízení		PV-F 800
<i>Objem spalin min-max</i>	Nm ³ /s	0,4 - 2
<i>Teplota spalin na vstupu</i>	°C	170 - 280
<i>Výstupní teplota spalin</i>	°C	120 - 240
<i>Max.spotřeba sorbentu</i>	l/hod	130
<i>Sorbent Ca(OH)₂:H₂O</i>		1:4
<i>Účinnost vypírky</i>	Vápenný hydrát	až 90 %

Pračka spalín má 13 hlavních částí:

1. Reaktor
2. Dosoušecí komora
3. Vstupního kouřovodu
4. Tlakové trysky
5. Rozvod stlačeného vzduchu
6. Zásobník vápna
7. Míchací nádrž
8. Dávkovací nádrž
9. Rozvod užitkové vody
10. Čidla vstupní a výstupní teploty spalín
11. Dávkovací čerpadla sorbentu DČ 1 – 3
12. Ventily automatického proplachu potrubí sorbentu EV 1, 2
13. Elektrorozvaděče

Pračka pracuje na vstupu při teplotách 230 – 250 °C. Spaliny jsou vedeny do reaktoru, kde dochází ke kontaktu se suspenzí. Při chemické reakci na sebe sorbent váže škodliviny ze spalín, zároveň se sorbent vysuší a je veden do tkaninového filtru. Spaliny musí mít před vstupem do filtru určitou teplotu, proto je někdy nutné jejich ochlazení na maximální přípustnou teplotu. Vysušený sorbent společně s popílkem se ve filtru zachytává a je odváděn do „popelnice“. Vyčištěné spaliny poté míří do komína.

Reaktor je válcová nádoba z oceli. Je opatřena výsypkou, nad kterou jsou rozprašovací trysky. Ty zajistí požadované rozprášení sorbentu. Jejich funkce je závislá na správných tlakových poměrech v trysce a na viskozitě vody a sorbentu. Dosoušecí komora je na reaktor připojena spojovacím kanálem. Zajišťuje dostatečnou reakční dobu pro nezbytné chemické reakce.

Systém přípravy sorbentu musí zajistit přesné dávkování sorbentu do rozprašovacích trysek. Technologie je opatřena čerpadly, nádrží na promíchávání sorbentu a automatickým proplachováním rozvodů, které je nutné provádět v časových intervalech.

Bezpečný provoz tkaninového filtru (tzn. provoz v předepsaných teplotách) zajišťuje dochlazovací klapa. Maximální teplota je závislá na použité filtrační látce.

Nastavení je možné v rozmezí 150 – 300 °C. Pokud dojde k překročení maximální přípustné teploty, otevře se klapka studeného vzduchu. Klapka se opět uzavře po dostatečném ochlazení.

Elektrozvaděč zajišťuje všechny automatické a poloautomatické funkce ekobloku a je propojen s elektrozvaděčem zdroje spalín.

Hlavní body, které se sledují při provozu ekobloku:

- Teploty před a za reaktorem
- Hladina sorbentu v nádrži
- Stav a funkce dávkovacího čerpadla
- Odpor tkaninového filtru
- Tlakový vzduch

Pro případné poruchy má rozvaděč i zabezpečovací prvky, tj. hlavní vypínače, jističe, ochrana motorů apod. Samozřejmostí jsou i signalizace poruch, jak akustické, tak optické. To vše je dáno příslušnými předpisy. Lit [8, 9]

7.2 Výpočet délky reakčních komor

7.2.1 Model kapky

Teplota vápenné emulze při vstupu do pračky spalín je 20 °C. K rozprášení emulze na malé kapičky slouží speciální trysky, které se nabízí v široké škále konstrukčních provedení. Výběr trysky je rozdělen např. dle úhlu rozprášení emulze nebo tvaru rozprášení (plný kužel, dutý kužel, plochý paprsek apod.).

Jednotlivé kapičky se pohybují ve dvou fázích. V první fázi se kapka ohřívá ze vstupní teploty na teplotu vypařování. Druhá fáze je samotné vypařování. Logicky tedy vyplývá, že hmotnost každé kapičky má v druhé fázi klesající tendenci.

7.2.2 Počáteční rychlost kapky

Mezi hlavní parametry ovlivňující rychlost kapky patří hodnota stlačeného vzduchu a velikost dopravovaného množství sorbentu.

Vstupní hodnoty vzduchu a sorbentu jsou následující:

- $p_1 = 0,9 \text{ MPa}$ tlak vzduchu na vstupu do trysky
- $p_0 = 0,1 \text{ MPa}$ tlak v reaktoru
- $V_{vz} = 17 \text{ m}^3/\text{h}$ množství vzduchu
- $t_s = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ teplota sorbentu na vstupu do pračky
- $Q_s = 40 \text{ l/h}$ množství sorbentu

Hustota vzduchu

$$\rho_{vz} = \frac{p_1}{r \cdot T_{vz}} \quad (7.1)$$

$$\rho_{vz} = \frac{0,9 \cdot 10^6}{287 \cdot (273,15 + 20)}$$

$$\rho_{vz} = 10,697 \text{ kg / m}^3$$

Rychlost vzduchu na výstupu z trysky

$$w_{vz} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1 - p_0}{\rho_{vz}}} \quad (7.2)$$

$$w_{vz} = 0,35 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{0,9 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6}{10,679}}$$

$$w_{vz} = 135,48 \text{ m / s}$$

kde:

μ – průtokový součinitel lit [13]

Rychlost proudění sorbentu

$$w_s = \frac{4 \cdot Q_s}{\pi \cdot d_{tr}^2} \quad (7.3)$$

$$w_s = \frac{4 \cdot 1,11 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$w_s = 0,393 \text{ / s}$$

Výstupní rychlost kapky

Zákon zachování hybnosti

$$w_{vz} \cdot \dot{m}_{vz} + w_s \cdot \dot{m}_s = (\dot{m}_{vz} + \dot{m}_s) \cdot w_{kp} \Rightarrow w_{kp} \quad (7.4)$$

$$w_{kp} = \frac{w_{vz} \cdot \dot{m}_{vz} + w_s \cdot \dot{m}_s}{\dot{m}_{vz} + \dot{m}_s}$$

$$w_{kp} = \frac{135,48 \cdot 0,051 + 0,393 \cdot 0,0134}{0,051 + 0,0134}$$

$$w_{kp} = 107,372 \text{ m / s}$$

Hmotnostní tok vzduchu

$$\dot{m}_{vz} = \rho_{vz} \cdot \dot{V}_{vz} \quad (7.5)$$

$$\dot{m}_{vz} = 10,697 \cdot 4,722 \cdot 10^{-3}$$

$$\dot{m}_{vz} = 0,051 \text{ kg / s}$$

Hmotnost kapky

$$m_{kp} = \frac{1}{6} \cdot \rho_{kp} \cdot \pi \cdot d_{kp-\max}^3 \quad (7.6)$$

$$m_{kp} = \frac{1}{6} \cdot 1210 \cdot \pi \cdot (1,45 \cdot 10^{-8})^3$$

$$m_{kp} = 1,93 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$$

Maximální průměr kapky volím dle literatury [10], hustota kapky závisí na poměru vody a hydroxidu vápenatého, v mém případě 1:4.

7.2.3 Přenos tepla při ohřevu a vypařování kapky

Velikost dráhy ohřevu a vypaření kapky je ovlivněno teplem, které je přiváděno kapce v okamžiku opuštění trysky. Výpočet se provádí pro každý stupeň pračky zvlášť, vycházím z literatury [11].

- $\lambda_{sp} = 43,88 \cdot 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}$ součinitel tepelné vodivosti spalin
- $\nu_{sp} = 33,59 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ kinematická viskozita spalin

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{w_{kp} \cdot d_{kp-\max}}{\nu_{sp}} \quad (7.7)$$

$$Re = \frac{107,372 \cdot 145 \cdot 10^{-6}}{33,59 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 464$$

Prandtlovo číslo $Pr = 0,64$

Nusseltovo kritérium

$$Nu = 2 + 0,552 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,3} \quad (7.8)$$

$$Nu = 2 + 0,552 \cdot 464^{0,5} \cdot 0,64^{0,3}$$

$$Nu = 12,4$$

Součinitel přestupu tepla

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{sp}}{d_{kp-\max}} \quad (7.9)$$

$$\alpha = \frac{12,4 \cdot 43,88 \cdot 10^{-3}}{145 \cdot 10^{-6}}$$

$$\alpha = 3752,5 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Přenos tepla při ohřevu kapky

V této fázi dochází k ohřevu kapky z teploty 20 °C na 100 °C. Vycházím z rovnice dle literatury [14].

$$\alpha \cdot \pi \cdot d_{kp-\max}^2 \cdot (T_{sp-250} - T_{kp-ST}) = c_{p-kp} \cdot m_{kp} \cdot \frac{T_{kp}' - T_{kp}}{\tau_1} \Rightarrow \tau_1 \quad (7.10)$$

$$\tau_1 = \frac{c_{p-kp} \cdot m_{kp} \cdot (T_{sp-250} - T_{kp-ST})}{\alpha \cdot \pi \cdot d_{kp-\max}^2 \cdot (T_{kp}' - T_{kp})}$$

$$\tau_1 = \frac{4183 \cdot 1,93 \cdot 10^{-9} \cdot (373,15 - 293,15)}{3752,5 \cdot \pi \cdot (145 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (523,15 - 333,15)}$$

$$\tau_1 = 0,0137 \text{ s}$$

kde:

$$T_{sp-250} = 523,15 \text{ K}$$

$$T_{kp-ST} = 333,15 \text{ K}$$

$$T_{kp}' = 293,15 \text{ K}$$

$$c_{p-kp} = 4183 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Přenos tepla při vypařování kapky

Pro zjednodušení výpočtu bereme v úvahu, že se během vypařování nemění hmotnost a plocha kapky. Platí vztah:

$$\frac{m_{kp} \cdot l}{\tau_2} = \alpha_{ST} \cdot S_{kp} \cdot dt_{ST} \Rightarrow \text{vyjádřím } \tau_2 \quad (7.11)$$

$$\tau_2 = \frac{m_{kp} \cdot l_v}{\alpha_{ST} \cdot S_{kp} \cdot dt_{ST}}$$

Střední teplota spalin v prvním stupni

$$t_{sp-ST} = \frac{t_{sp-250} + t_{sp-170}}{2} \quad (7.12)$$

$$t_{sp-ST} = \frac{250 + 170}{2}$$

$$t_{sp-ST} = 210 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Střední rozdíl teplot kapky a teplot spalin

$$dt_{ST} = t_{sp-ST} - t_{kp-vyp} \quad (7.13)$$

$$dt_{ST} = 210 - 100$$

$$dt_{ST} = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Povrch kapky

$$S_{kp} = \pi \cdot d_{kp-max}^2 \quad (7.14)$$

$$S_{kp} = \pi \cdot (1,45 \cdot 10^{-4})^2$$

$$S_{kp} = 6,6 \cdot 10^{-8} \text{ } m^2$$

Měrné výparné teplo vody podle lit. [15] $l_v = 2257 \cdot 10^3 \text{ kJ/kg}$

$$\tau_2 = \frac{m_{kp} \cdot l_v}{\alpha_{ST} \cdot S_{kp} \cdot dt_{ST}}$$

$$\tau_2 = \frac{1,93 \cdot 10^{-9} \cdot 2257 \cdot 10^3}{3752,5 \cdot 6,6 \cdot 10^{-8} \cdot 110}$$

$$\tau_2 = 0,159 \text{ s}$$

Celková doba ohřevu a vypařování kapky pro I. Stupeň pračky

$$\tau_1 + \tau_2 = 0,0137 + 0,159 = 0,1727 \text{ s} \quad (7.15)$$

Výpočet přenosu tepla pro II. Stupeň pračky

Do druhého stupně vstupují spaliny o teplotě 170 °C a vystupují o teplotě 130 °C. Střední hodnota je tedy 150 °C.

Dosazované hodnoty pro výpočet při teplotě 150 °C:

- $\lambda_{sp} = 3,769 \cdot 10^{-2} \text{ W/mK}$ součinitel tepelné vodivosti spalin
- $\nu_{sp} = 2,628 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ kinematická viskozita spalin
- $Pr = 0,667$ Prandtlovo číslo

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{w_{kp} \cdot d_{kp-\max}}{\nu_{sp}}$$
$$Re = \frac{107,372 \cdot 1,45 \cdot 10^{-4}}{2,628 \cdot 10^{-5}}$$
$$Re = 592$$

Nusseltovo kritérium

$$Nu = 2 + 0,552 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,3}$$
$$Nu = 2 + 0,552 \cdot 592^{0,5} \cdot 0,667^{0,3}$$
$$Nu = 13,9$$

Součinitel přestupu tepla

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{sp-210}}{d_{kp-\max}}$$
$$\alpha = \frac{13,9 \cdot 3,769 \cdot 10^{-2}}{1,45 \cdot 10^{-4}}$$
$$\alpha = 3613,04 \text{ W / m}^2\text{K}$$

Přenos tepla při ohřevu kapky

Dochází k ohřevu kapky z teploty 20 °C na teplotu 100 °C. Platí rovnice:

$$\alpha \cdot \pi \cdot d_{kp-\max}^2 \cdot (T_{SP-250} - T_{kp-ST}) = c_{p-kp} \cdot m_{kp} \cdot \frac{T'_{kp} - T_{kp}}{\tau_1}$$

kde:

$$T_{sp-250} = 443,15 \text{ K}$$

$$T_{kp-ST} = 333,15 \text{ K}$$

$$T'_{kp} = 373,15 \text{ K}$$

$$T_{kp} = 293,15 \text{ K}$$

$$c_{p-kp} = 4183 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Doba potřebná k ohřevu kapky

$$\tau_1 = \frac{c_{p-kp} \cdot m_{kp} \cdot (T_{SP-250} - T_{kp-ST})}{\alpha \cdot \pi \cdot d_{kp-\max}^2 \cdot (T'_{kp} - T_{kp})}$$
$$\tau_1 = \frac{4183 \cdot 1,93 \cdot 10^{-9} \cdot (373,15 - 293,15)}{3613,04 \cdot \pi \cdot (1,45 \cdot 10^{-4})^2 \cdot (443,15 - 333,15)}$$
$$\tau_1 = 0,0246 \text{ s}$$

Přenos tepla při vypařování kapky

Pro zjednodušení výpočtu opět uvažujeme, jako v I. Stupni, konstantní hmotnost a plochu kapky. Platí rce:

$$\frac{m_{kp} \cdot l_v}{\tau_2} = \alpha_{ST} \cdot S_{kp} \cdot dt_{ST} \Rightarrow \tau_2$$

Střední teplota spalin v II. Stupni

$$t_{sp-ST} = \frac{t_{sp-170} + t_{sp-130}}{2}$$

$$t_{sp-ST} = \frac{170 + 130}{2}$$

$$t_{sp-ST} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Střední rozdíl teploty kapky a teploty spalin

$$dt_{ST} = t_{sp-ST} - t_{kp-vyp}$$

$$dt_{ST} = 150 - 100$$

$$dt_{ST} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Teplota kapky po dobu vypařování $t_{kp-vyp} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, měrné výparné teplo vody podle lit. [15] $l_v = 2257 \cdot 10^3 \text{ kJ/kg}$.

Doba vypařování kapky

$$\tau_2 = \frac{m_{kp} \cdot l_v}{\alpha_{ST} \cdot S_{kp} \cdot dt_{ST}}$$

$$\tau_2 = \frac{1,93 \cdot 10^{-9} \cdot 2257 \cdot 10^3}{3613,04 \cdot 6,6 \cdot 10^{-8} \cdot 50}$$

$$\tau_2 = 0,365 \text{ s}$$

Celková doba ohřevu a vypařování kapky v II. Stupni pračky

$$\tau_1 + \tau_2 = 0,0246 + 0,365 = 0,387 \text{ s}$$

7.2.4 Určení průměru dvoustupňové pračky

Průměry reakčních komor musí být zvoleny tak, aby se zajistila dostatečná doba setrvání spalin v pračce. Tím se zajistí optimální odstranění SO_2 , HCl , Cl . Délku obou stupňů pračky volím $L = 3 \text{ m}$.

Rychlost proudění spalin

$$w_{SP,p} = \frac{L}{\tau_{sp}} \quad (7.16)$$

$$w_{SP,p} = \frac{3}{5,5}$$

$$w_{SP,p} = 0,545 \text{ m / s}$$

Průměr reakčních komor

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} \quad (7.17)$$

Plocha stupně pračky

$$S_p = \frac{\dot{V}_{sp}}{w_{sp,p}} \quad (7.18)$$

$$S_p = \frac{0,71}{0,545}$$

$$S_p = 1,303 \text{ m}^2$$

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}}$$

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,303}{\pi}}$$

$$D_p = 1,29 \text{ m} \Rightarrow \text{volím } 1,5 \text{ m}$$

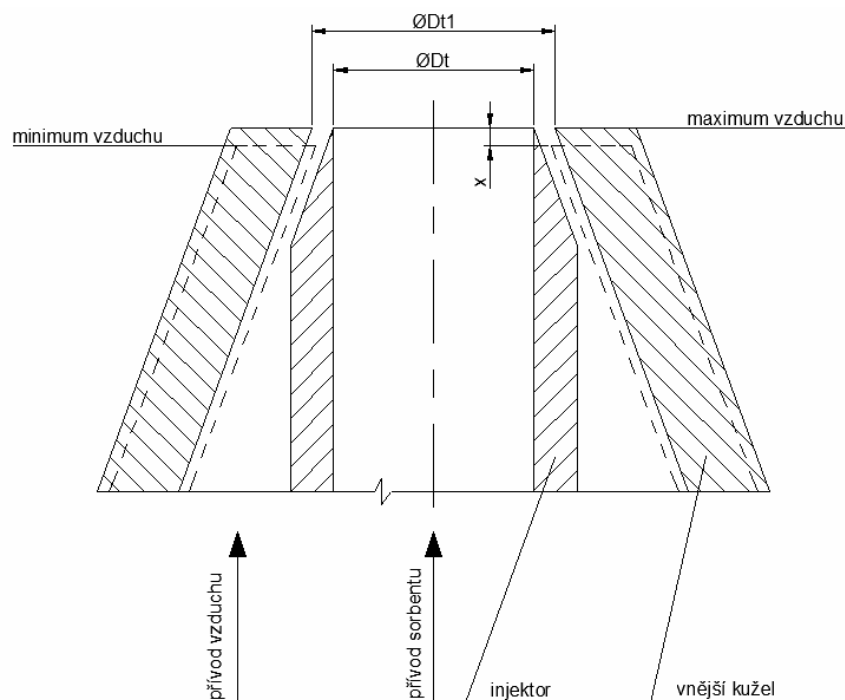
Vzhledem k zvolenému průměru se sníží rychlost spalin a tím se zvýší doba setrvání spalin v pračce.

7.2.5 Tryska sorbentu

Tryska pro rozprášení sorbentu musí splňovat několik požadavků. Tím hlavním je dokonalé rozprášení sorbentu, abychom docílili optimálního promísení se spaliny a žádoucí chemické reakce. Pro zvolené zařízení jsem zvolil dvě trysky, z nichž na každou

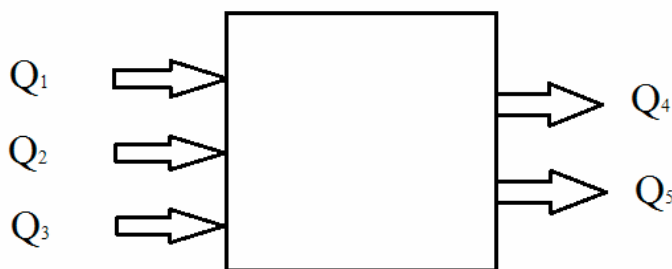
připadá 30 litrů sorbentu za hodinu. Sorbent se rozprašuje pomocí stlačeného vzduchu o hodnotě 0,9 MPa, spotřeba vzduchu pro rozprašení 30 l sorbentu za hodinu je 15 m³/h.

Úhel rozprachu sorbentu je 30 – 35°. Detail trysky je znázorněn na obrázku 7-1. Vnější kuželem se reguluje objemový přítok vzduchu, vnitřní průměr Dt = 6 mm, Dt1 = 6,8 mm. Údaj x nám udává možné posunutí vnějšího kužele z minimální hodnoty do maximální a jeho hodnota je 4 mm. V maximální poloze je spotřeba vzduchu 35 m³/h a v poloze minimální je to 17 m³/h. Lit [16]



Obr. 7-1, Tryska sorbentu

7.3 Teplota spalín na výstupu z pračky



Obr. 7-2, energetická bilance pračky spalín

Teplotu spalín na výstupu z pračky určíme z energetické bilance pračky spalín, která je znázorněna na obr. 7-2. Platí, že:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_{ZTR} \quad (7.19)$$

kde:

Q_1 – vstup spalín [kW]

Q_2 – Přívod vzduchu [kW]

Q_3 – přívod sorbentu [kW]

Q_4 – výstup spalín [kW]

Q_{ZTR} – ztráty [kW]

Pro vstupní a výstupní parametry platí:

$$Q_1 = \dot{V}_{sp,vst} \cdot c_{p,sp,vst} \cdot t_{sp,vst} \quad (7.20)$$

$$Q_2 = \dot{V}_{vz} \cdot c_{p,vz} \cdot t_{vz} \quad (7.21)$$

$$Q_3 = \dot{m}_v \cdot c_{p,v} \cdot t_v - \dot{m}_v \cdot c_{p,v} \cdot t'_v - \dot{m}_v \cdot l - \dot{m}_v \cdot c'_{p,p,vyst} \cdot t_{sp,vyst} \quad (7.22)$$

$$Q_4 = \dot{V}_{sp,vyst} \cdot c_{p,sp,vyst} \cdot t_{sp,vyst} - \dot{V}_{vz} \cdot c_{p,vz} \cdot t_{sp,vyst} + \dot{m}_v \cdot c_{p,p,vyst} \cdot t_{sp,vyst} \quad (7.23)$$

$$Q_{ZTR} = 10\% \text{ z } Q_1 = 0,1 \cdot Q_1, \text{ lit [17]} \quad (7.24)$$

Po dosazení veličin do bilanční rovnice platí pro výstupní teplotu spalín z pračky:

$$t_{sp,vyst} = \frac{0,9 \cdot \dot{V}_{sp,vst} \cdot c_{p,sp,vst} \cdot t_{sp,vst} - \dot{m}_v \cdot [c_{p,v} \cdot (t'_v - t_v) + 1 + c_{p,p,vst} \cdot t_v]}{\dot{V}_{sp,vyst} \cdot c_{p,sp,vyst} + \dot{m}_v \cdot c_{p,p,vyst}} \quad (7.25)$$

7.3.1 Výstupní teplota spalín z I. Stupně pračky

Množství spalín vystupujících z pračky

$$\dot{V}_{sp,vyst} = \dot{V}_{sp,vst} + \dot{V}_{vz} + \dot{V}_p \quad (7.26)$$

Množství vodní páry vzniklé odpařením sorbentu

$$\dot{V}_p = \frac{22,4}{18} \cdot \dot{m}_v \quad (7.27)$$

$$\dot{V}_p = \frac{22,4}{18} \cdot 30$$

$$\dot{V}_p = 37,33 \text{ m}_N^3 / h = 0,0104 \text{ m}_N^3 / s$$

Množství páry vstupující do pračky

$$\dot{V}_{sp,vyst} = 0,7108 + 0,0097 + 0,0104 = 0,731 \text{ m}_N^3 / s$$

Výstupní teplota spalin z I. stupně pračky:

$$t_{sp,vyst} = \frac{0,9 \cdot 0,7108 \cdot 1,41 \cdot 250 - 0,008 \cdot [4,18 \cdot (100 - 20) + 2257 + 2,05 \cdot 100]}{0,731 \cdot 1,39 + 0,008 \cdot 1,98}$$

$$t_{sp,vyst} = 196,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

7.3.2 Výstupní teplota spalin z II. Stupně pračky

Postup výpočtu je stejný, dosazují hodnoty vypočtené z I. stupně pračky:

$$t_{sp,vyst} = \frac{0,9 \cdot 0,731 \cdot 1,41 \cdot 196,8 - 0,008 \cdot [4,18 \cdot (100 - 20) + 2257 + 2,05 \cdot 100]}{0,7511 \cdot 1,39 + 0,008 \cdot 1,98}$$

$$t_{sp,vyst} = 152 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pro zvolenou pračku spalin od firmy Fornax a.s. platí následující parametry:

- Vstupní teplota spalin 250 °C
- Výstupní teplota spalin v I. stupni pračky 196,8 °C
- Výstupní teplota spalin v II. stupni pračky 152 °C
- Délka reakčních komor 3 m
- Průměr reakčních komor 1,5 m

Vypočtené hodnoty vyhovují technickým parametrům zvoleného zařízení, které jsou uvedeny v tab. 6. Rozprášení sorbentu v pračce zajišťují dvě trysky. Na každou trysku připadá 30 litrů sorbentu za hodinu při spotřebě 15 m³/hod vzduchu.

Abychom zabránili korozi ocelových částí, je důležité zajistit, aby výstupní teplota spalin neklesla pod rosný bod spalin. Vzniklý kondenzát by obsahoval nebezpečné kyseliny H₂CO₃, H₂SO₃ a H₂SO₄.

Výstupní teplota spalin 152 °C je zároveň vstupní hodnotou spalin do látkového filtru.

8 TKANINOVÝ FILTR

Spaliny jsou vedeny z druhého stupně pračky do tkaninového filtru. Teplota spalin je 152 °C.

Množství spalin proudících filtrem

$$\dot{V}_{sp,f} = \dot{V}_{sp,c,n} \cdot \frac{t_{sp,vst} + T_N}{T_N} \quad (8.1)$$

$$\dot{V}_{sp,f} = 0,71 \cdot \frac{152 + 273,15}{273,15}$$

$$\dot{V}_{sp,f} = 1,1051 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Filtrační rychlost je dle [12] 1,5 – 2,5 cm/s.

Potřebná filtrační plocha při $w_f = 1,5 \text{ cm/s}$

$$S_f = \frac{\dot{V}_{sp,f}}{w_f} \quad (8.2)$$

$$S_f = \frac{1,1051}{0,015}$$

$$S_f = 73,67 \text{ m}^2$$

Volím filtr FBW 64 výrobce W-Eko Ostrov. Tento látkový filtr má činnou plochu tkaniny 64 m², proto jsou v ekobloku umístěny dva filtry. Při průchodu spalin dojde k odlučování pevných částic při teplotách do 180 °C. Krátkodobě může k odlučování dojít i při teplotách do 200 °C. Aby se docílilo potřebného účinku regenerace, je nutné dosáhnout podtlaku na vstupu do filtru minimálně 1000 Pa. Technické parametry filtru jsou převzaty z [12].

9 SPALINOVÝ VENTILÁTOR

Z filtru jsou spaliny vedeny přes spalínový ventilátor, který musí zajistit potřebný podtlak ve spalínovém traktu. Tlakové ztráty jednotlivých částí spalovny jsou převzaty dle lit [9, 12, 15, 17] na základě garančních zkoušek a měření u spaloven s podobnými parametry.

- Tlaková ztráta před pračkou spalín 900 Pa
(spalovací komora, dohořivací komora, výměník tepla)
- Tlaková ztráta pračky spalín 50 Pa
- Spojovací potrubí mezi pračkou a filtrem 40 Pa
- Tlaková ztráta filtru $2 \times 1500 \text{ Pa} = 3000 \text{ Pa}$
- Potrubí z filtru do spalínového ventilátoru 30 Pa

Celková tlaková ztráta ve spalínovém traktu činí $\Delta p = 4020 \text{ Pa}$

Ventilátor musí zaručit dopravu spalín o průtoku $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ při tlakové ztrátě 4020 Pa. K zajištění podtlaku navrhuji ventilátor RVM od výrobce ZVVZ MACHINERY. Jedná se o středotlaký radiální ventilátor pro dopravu vzdušin o teplotách $-20 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Na základě těchto parametrů volím dle pracovního diagramu ventilátor RVM 500 – 8/1.00 – N 2900.KM 12 3334.1 2 0. Tento ventilátor má průměr 500 mm při otáčkách 2900 min^{-1} . Katalogový list je uveden v příloze č. 3 a diagram pracovní oblasti ventilátoru v příloze č. 4 podle [18]. Vyčištěné spaliny jsou vedeny pře spalínový ventilátor do komína.

10 ZÁVĚR

Hlavním důvodem termické likvidace radioaktivních odpadů je odstranění radionuklidů. Přitom je snahou využít energii obsaženou v odpadu. Technologie spalování je jednou z nejpoužívanějších metod pro redukci a zneškodňování RAO.

V diplomové práci jsem navrhl spalovací komoru s přesuvným roštem pro spalovnu nízkoradioaktivního odpadu. Všechna zařízení spalující zvláštní odpad (RAO) musí být vybavena dodatečným spalováním, v mém případě dohořivací komorou. V té dojde k odstranění všech škodlivých látek přicházejících ze spalovacího prostoru.

Ve své práci jsem provedl návrh vyzdívek spalovací i dopalovací části., který jsem doplnil o výkresovou dokumentaci. Jako základní zdivo jsem použil materiál STV, tvrdý šamot s použitím do teplot 1450 °C. Většina dalších materiálů jsou žárobetony na bázi lehčeného šamotu nebo izolační prvky, které jsou vyrobeny ze žáruvzdorných keramických vláken smíchaných se speciálně vybranými anorganickými a organickými pojivy.

V první části práce jsem vypočítal základní podmínky procesu spalování odpadu. Při výpočtech jsem vycházel ze vstupních parametrů daných zadáním práce. Použil jsem složení modulového RA odpadu z rešerše literatury. Výhřevnost takového odpadu je 23,3 MJ/kg. Počítal jsem pro teoretický výkon spalovny 110 kg/h, přičemž spalování probíhá v pravidelných intervalech 3 min. Dávka každého odpadu má hmotnost 5,5 kg. Teplota spalin za spalovací komorou je 1020,03 °C, teplota za dohořivací komorou 1000,03°C. Rychlost proudění spalin v dohořivací komoře je 2,3 m/s. Doba setrvání spalin je legislativou dána po dobu min 2 s, v mém případě je kontrola doby zdržení spalin v dohořivací komoře 2,3 s.

V dnešní moderní době, kdy se klade velký důraz na ochranu životního prostředí a čistotu ovzduší je nutné vzniklé spaliny vyčistit.

V druhé části práce jsem proto navrhl čištění spalin polosuchou metodou pomocí pračky spalin. Aby bylo dosaženo co nejdelší reakční doby spalin se sorbentem, volím použití dvoustupňové pračky. Zvolil jsem pračku spalin firmy Fornax a.s. Princip metody spočívá ve vytvoření jemné mlhy suspenze (vápenné emulze). Spaliny touto mlhou procházejí a dochází k zachycení SO₂, HCl, HF.

Vstupní teplota spalin do pračky je 250 °C. Po výpočtech jsem navrhl délku reakčních komor 3 m a průměr 1,5 m. Při těchto parametrech je výstupní teplota z prvního stupně pračky 196,8 °C, z druhého stupně 151 °C. Spaliny o této teplotě dále putují do dvou tkaninových filtrů FBW 64 výrobce W-Eko Ostrov, kde dojde k odlučování pevných částic.

Pro zajištění podtlaku ve spalinovém traktu a dopravu spalin o průtoku 0,71 m³/s při tlakové ztrátě 4020 Pa, jsem navrhl spalinový ventilátor RVM 500 – 8/1.00 – N 2900.KM 12 3334.1 2 0 od výrobce ZVVZ MACHINERY. Tento ventilátor má průměr 500 mm při otáčkách 2900 min⁻¹. Spaliny jsou přes ventilátor vedeny do komína a jsou vypouštěny do ovzduší.

11 LITERATURA

- [1] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k22.htm>
- [2] http://atomovejadro.wz.cz/stranky/radioaktivita_1.html
http://atomovejadro.wz.cz/stranky/radioaktivita_2.html
http://atomovejadro.wz.cz/stranky/radioaktivita_3.html
- [3] Prof. Ing. Kolat Pavel, DrSc.: Úvod do jaderné energetiky, VŠB Ostrava 2012
- [4] www.inheat.cz/produkty&idk=28
- [5] <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/>
- [6] www.prumyslova-keramika.cz/text/cs/izolacni.aspx
- [7] www.prumyslova-keramika.cz/text/cs/nizkocementove.aspx
- [8] Černý V., Janeba B., Teyssler J.: Parní kotle, Praha 1983
- [9] Prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc., Katedra energetiky VŠB Ostrava, Posudek na pračky spalín typu PV-F800, 2002
- [10] Mádr: Rozpad kapalinových paprsků, VŠB Ostrava 1972
- [11] Rédr, Příhoda: Základy tepelné techniky, SNTL Praha 1975
- [12] Firemní literatura W-Eko, spol. s.r.o., Ostrov
- [13] Černý a kol. : Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL 1975
- [14] Prof. Ing. Kolat Pavel, DrSc.: Přenos tepla a hmoty, VŠB Ostrava 1986
- [15] Hašek Pavel: Tabulky pro tepelnou techniku, VŠB Ostrava 1980
- [16] Boháč Martin: BP, Návrh zařízení pro čištění spalín z roštových kotlů, 2010
- [17] Funkční zkoušky prototypového zařízení pro výstavbu provozně neověřené spalovny pro jadernou elektrárnu typu VVER, Výzkumná zpráva katedry energetiky FS, VŠB 1992
- [18] www.zvvz.cz, ZVVZ dodavatel zařízení pro ekologii

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Materiálový list IZOBET 1150/1,0 a 1300/1,6V

Příloha č. 2 Materiálový list NOVOBET 1450

Příloha č. 3 Katalogový list spalínového ventilátoru RVM 500 – 8/1.00 – N – 2900.KM
12 3334.1 2 0

Příloha č. 4 Diagram pracovní oblasti ventilátoru

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Sestava SN2ESZ03 - 01

Vyzdívka dopalovací komory SN2ESZ03 - 02

Vyzdívka spalovací komory SN2ESZ03 - 03

PŘÍLOHA č. 1



Průmyslová keramika, spol. s r.o.
 Spešovská 627
 CZ 679 02 RÁJEC-JESTŘEBÍ
 ☎ ++420-516 432 197, 516 432 251, 516 433 831
 Fax ++420-516 432 273
 e-mail: prumker@prumker.cz
<http://www.prumker.cz>

IZOBET 1150/1,0

TYP izolační žarobeton TYPE Feuerleichtbeton TYPE OF PRODUCT insulating castable	SUROVINOVÁ BÁZE keramzit ROHSTOFFBASIS Blähton MAIN RAW MATERIAL BASE haydite	VAZBA hydraulická BINDUNGSART hydraulisch TYPE OF BOND hydraulic
---	--	---

VŠEOBECNÉ ÚDAJE / ALLGEMEINE ANGABEN / GENERAL DATA

KLASIFIKAČNÍ TEPLOTA KLASSIFIZIERUNGSTEMPERATUR CLASSIFICATION TEMPERATURE	°C	1150	ZRNITOST KÖRNUNG GRAIN SIZE	mm	0 - 8
SPOTŘEBA MATERIÁLU MATERIALBEDARF MATERIAL REQUIRED	t/m³	1,0	OBRUSNOST (ČSN EN ISO 16282) ABRIEB ABRASION RESISTANCE	cm³	
SPOTŘEBA VODY ANMACHWASSERBEDARF WATER REQUIRED	L / 100 kg	38-40	ÚNOSNOST V ŽÁRU (ČSN EN ISO 1893) DRUCKFEUERBESTÄNDIGKEIT REFRACTORINESS-UNDER-LOAD	°C	min. 1150

CHEMICKÉ SLOŽENÍ / CHEMISCHE ANALYSE / CHEMICAL ANALYSIS (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO		
30	44	11,5	12,5		

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI / FYZIKALISCHE EIGENSCHAFTEN / PHYSICAL PROPERTIES (ČSN EN 1402-6)

TEPLOTA VÝPALU BRANDTEMPERATUR TEST TEMPERATURE °C	OBJEMOVÁ HMOTNOST ROHDICHTE BULK DENSITY kg.m ⁻³	PEVNOST V TLAKU KALTDRUCKFESTIGKEIT COLD CRUSHING STRENGTH MPa	TRVALÉ DÉLKOVÉ ZMĚNY BLEIBENDE LIN. LÄNGEÄNDERUNG PERMANENT LINEAR CHANGE %	ZDÁNLIVÁ PÓROVITOST OFFENE POROSITÄT APPARENT POROSITY %
110	max. 1020	min. 3,5		
800	max. 980	min. 3,0	max. -0,3	45
1150	max. 970	min. 2,2	max. -1,1	60

TEPELNÁ VODIVOST / WÄRMELEITFÄHIGKEIT / THERMAL CONDUCTIVITY (ČSN EN ISO 8894-1)

200	400	600	800	1000	°C
0,29	0,31	0,35	0,40	0,48	W.m ⁻¹ .K ⁻¹

OSTATNÍ ÚDAJE / BLEIBENDE ANGABEN / THE OTHERS INFORMATION

INSTALACE: št'ouchání, liti	VERARBEITUNGSTECHNIK: Stochern, Giessen	METHOD OF PLACEMENT: rodding, casting
BALENÍ: SKLADOVATELNOST: POUŽITÍ: běžné izolační vyzdívky a tvarovky do 1150 °C	VERPACKUNG: LAGERFÄHIGKEIT: VERWENDUNG: für verschiedene Anwendungszwecke bis 1150°C, für isolierende monolithische Ausmauerungen und auch für Herstellung der Fertigbauteilen	PACKING: STORAGE LIFE: TYPICAL APPLICATIONS: insulating linings as back-up insulation, premanufactured parts to 1150 °C

IZOBET 1300/1,6V

TYP izolační žarobeton TYPE Feuerleichtbeton TYPE OF PRODUCT insulating castable	SUROVINOVÁ BÁZE lehčený šamot ROHSTOFFBASIS Leichtschamotte MAIN RAW MATERIAL BASE insulating fireclay	VAZBA hydraulická BINDUNGSART hydraulisch TYPE OF BOND hydraulic
---	---	---

VŠEOBECNÉ ÚDAJE / ALLGEMEINE ANGABEN / GENERAL DATA

KLASIFIKAČNÍ TEPLOTA KLASIFIZIERUNGSTEMPERATUR CLASSIFICATION TEMPERATURE	°C	1300	ZRNITOST KÖRNUNG GRAIN SIZE	mm	0 - 6
SPOTŘEBA MATERIÁLU MATERIALBEDARF MATERIAL REQUIRED	t/m ³	1,55	OBRUSNOST (ČSN EN ISO 16282) ABRIES ABRASION RESISTANCE	cm ³	
SPOTŘEBA VODY ANMACHWASSERBEDARF WATER REQUIRED	L / 100 kg	21-23	ÚNOSNOST V ŽÁRU (ČSN EN ISO 1893) DRUCKFEUERBESTÄNDIGKEIT REFRACTORINESS-UNDER-LOAD	°C	min. 1310

CHEMICKÉ SLOŽENÍ / CHEMISCHE ANALYSE / CHEMICAL ANALYSIS (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO		
42	45	3,2	8		

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI / FYZIKALISCHE EIGENSCHAFTEN / PHYSICAL PROPERTIES (ČSN EN 1402-6)

TEPLOTA VÝPALU BRANDTEMPERATUR TEST TEMPERATURE °C	OBJEMOVÁ HMOTNOST ROHDICHT BULK DENSITY kg.m ⁻³	PEVNOST V TLAKU KALTDROCKFESTIGKEIT COLD CRUSHING STRENGTH MPa	TRVALÉ DÉLKOVÉ ZMĚNY BLEIBENDE LIN. LÄNGEÄNDERUNG PERMANENT LINEAR CHANGE %	ZDÁNLIVÁ PÓROVITOST OFFENE POROSITÄT APPARENT POROSITY %
110	max. 1600	min. 22		
800	max. 1520	min. 20	max. -0,2	36
1300	max. 1530	min. 22	max. -0,5	39

TEPELNÁ VODIVOST / WÄRMELEITFÄHIGKEIT / THERMAL CONDUCTIVITY (ČSN EN ISO 8894-1)

200	400	600	800	1000	°C
0,67	0,67	0,70	0,75	0,80	W.m ⁻¹ .K ⁻¹

OSTATNÍ ÚDAJE / BLEIBENDE ANGABEN / THE OTHERS INFORMATION

INSTALACE: vibrování	VERARBEITUNGSTECHNIK: Vibration	METHOD OF PLACEMENT: vibrating
BALENÍ: 40 kg pytle SKLADOVATELNOST: 6 měsíců POUŽITÍ: konstrukčně-izolační vyzdívky a tvarovky s vysokou mechanickou pevností	VERPACKUNG: 40 kg Säcke LAGERFÄHIGKEIT: 6 Monate VERWENDUNG: für isolierende monolithische Ausmauerungen mit sehr guter mechanischer Beständigkeit und auch für Herstellung der Fertigbauteilen	PACKING: 40 kg bags STORAGE LIFE: 6 months TYPICAL APPLICATIONS: structural-insulating linings, premanufactured parts with high mechanical strength

PŘÍLOHA č. 2



Průmyslová keramika, spol. s r.o.
 Spešovská 627
 CZ 679 02 RÁJEC-JESTŘEBÍ
 ☎ ++420-516 432 197, 516 432 251, 516 433 831
 Fax ++420-516 432 273
 e-mail: prumker@prumker.cz
<http://www.prumker.cz>

NOVOBET 1450

TYP nízkocementový žárobeton/LCC/ TYPE zementarmer Feuerbeton TYPE OF PRODUCT low cement castable	SUROVINOVÁ BÁZE nízkoželezitý šamot ROHSTOFFBASIS eisenarme Schamotte MAIN RAW MATERIAL BASE low iron fireclay	VAZBA hydraulická BINDUNGSART hydraulisch TYPE OF BOND hydraulic
--	---	---

VŠEOBECNÉ ÚDAJE / ALLGEMEINE ANGABEN / GENERAL DATA

KLASIFIKAČNÍ TEPLOTA KLASIFIZIERUNGSTEMPERATUR CLASSIFICATION TEMPERATURE	°C	1450	ZRNITOST KÖRNUNG GRAIN SIZE	mm	0 - 6
SPOTŘEBA MATERIÁLU MATERIALBEDARF MATERIAL REQUIRED	t/m ³	2,3	OBRUSNOST (ČSN EN ISO 16282) ABRIEB ABRASION RESISTANCE	cm ³	9
SPOTŘEBA VODY ANMACHWASSERBEDARF WATER REQUIRED	L / 100 kg	5,8-6,2	ÚNOSNOST V ŽÁRU (ČSN EN ISO 1893) DRUCKFEUERBESTÄNDIGKEIT REFRACTORINESS-UNDER-LOAD	°C	min. 1420

CHEMICKÉ SLOŽENÍ / CHEMISCHE ANALYSE / CHEMICAL ANALYSIS (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO		
46	47	1,0	2,1		

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI / FYZIKALISCHE EIGENSCHAFTEN / PHYSICAL PROPERTIES (ČSN EN 1402-6)

TEPLOTA VÝPALU BRANDTEMPERATUR TEST TEMPERATURE °C	OBJEMOVÁ HMOTNOST ROHDICHTÉ BULK DENSITY kg.m ⁻³	PEVNOST V TLAKU KALTDROCKFESTIGKEIT COLD CRUSHING STRENGTH MPa	TRVALÉ DÉLKOVÉ ZMĚNY BLEIBENDE LIN. LÄNGEÄNDERUNG PERMANENT LINEAR CHANGE %	ZDÁNĚLNIVÁ PÓROVITOST OFFENE POROSITÄT APPARENT POROSITY %
110	min. 2230	min. 65		
800	min. 2210	min. 75	max. -0,2	12
1450	min. 2240	min. 90	max. -0,8	14

TEPELNÁ VODIVOST / WÄRMELEITFÄHIGKEIT / THERMAL CONDUCTIVITY (ČSN EN ISO 8894-1)


400	600	800	1000	1200		°C
1,64	1,72	1,89	2,00	2,14		W.m ⁻¹ .K ⁻¹

OSTATNÍ ÚDAJE / BLEIBENDE ANGABEN / THE OTHERS INFORMATION

INSTALACE: vibrování	VERARBEITUNGSTECHNIK: Vibration	METHOD OF PLACEMENT: vibrating
BALENÍ: 25 kg pytle SKLADOVATELNOST: 4 měsíce POUŽITÍ: žárovzdorné vyzdívky s vysokými mechanickými pevnostmi, odolné vůči otěru a korozi taveninami kovů, strusek, agresivních složek spalín, popela	VERPACKUNG: 25 kg Säcke LAGERFÄHIGKEIT: 4 Monate VERWENDUNG: feuerfeste Auskleidungen mit der hohen mechanischen Festigkeit, Beständigkeit gegen Abrieb und Korrosion von flüssigen metallen, Schlacken, aggressiven Gassen und Aschen	PACKING: 25 kg bags STORAGE LIFE: 4 months TYPICAL APPLICATIONS: refractory linings with high mechanical strength, resistant to abrasion and corrosion caused by molten metal and slag or by aggressive flue gas and ash

PŘÍLOHA č. 3

KATALOGOVÝ LIST

	VENTILÁTORY RADIÁLNÍ VYSOKOTLAKÉ RVM 400 až 1250 jednostranně sací	KM 12 3334
		Vydání: 12/10
		Strana: 1
		Stran: 10

Ventilátory radiální vysokotlaké RVM 400 až 1250 jednostranně sací (dále jen ventilátory) se používají jako průmyslové, v elektrárnách, teplárnách, cementárnách, vápenkách, kamenolomech, filtračních zařízeních a všude tam, kde vyhovují svými parametry a provedením.

Provedení

Ventilátory se vyrábějí ve velikostech 400, 500, 630, 800, 1000, 1250. Jsou poháněny elektromotory na přímo, nebo přes pružnou spojku.

Ventilátory poháněné na přímo se vyrábějí v normálním provedení, ventilátory poháněné přes spojku v normálním a pancéřovaném provedení, které má zesílené oběžné kolo a spirální skříň je u ventilátorů velikostí 800 až 1250 zesílená vyměnitelnou vložkou.

U ventilátorů poháněných na přímo je oběžné kolo upevněno na čepu elektromotoru, u ventilátorů poháněných přes spojku je oběžné kolo upevněno na hřídeli ventilátoru, který je s elektromotorem spojen pružnou spojkou. Pro dosažení požadovaných výkonových parametrů lze použít u obou uspořádání osm různých oběžných kol označených č. 1 až 8.

K ventilátorům velikostí 630 až 1250 je možno dodat osově regulační ústrojí (příslušenství) pro umístění na sání ventilátoru.

Hřídel ventilátoru poháněného přes spojku je uložen ve valivých ložiskách ve společné ložiskové skříni. Při teplotě dopravované vzdušiny nad +100°C se ložiska chladí chladicím kotoučem nasazeným na hřídel mezi spirální skříň a ložisko. U ventilátorů dopravujících vzdušiny o teplotě od +250°C do +400°C se ložiska chladí chladicím kotoučem s tepelnou clonou.

Spirální skříň je svařovaná, v nejnižším bodě je odvodněna provrtaným otvorem. Ve spirále je umístěn kontrolní otvor (u ventilátorů velikostí 800 až 1250).

Oběžná kola ventilátorů jsou dynamicky vyvažována tak, aby přenos sil a kmitání na základ byl minimální.

Na sání i výtlačku ventilátoru je nutné k zamezení přenosu sil z návazného potrubí nebo zařízení použít pružné kompenzátory (v rámci dodávek potrubí).

Ložisko u spirální skříně je u ventilátorů velikostí 800 až 1250 opatřeno závitem M8 pro připojení čidla na měření chvění. Obě ložiska těchto velikostí ventilátorů jsou přizpůsobena pro připojení snímačů teploty (závity M20x1,5).

Ventilátory jsou spolu s elektromotorem uloženy na společné stoličce.

Ventilátory lze kotvit přímo na betonový základ, nebo pružně přes izolátory (příslušenství).

Pracovní podmínky

Ventilátory poháněné na přímo mohou dopravovat čisté vzdušiny s teplotou od -20°C do +60°C.

Ventilátory poháněné přes spojku v normálním provedení mohou dopravovat čisté vzdušiny bez abrazivních příměsí o teplotě od -20°C do +250°C (pro teplotu nad +100°C mají chladicí kotouč na hřídeli), ventilátory s tepelnou clonou mohou dopravovat vzdušiny až do +400°C.

Ventilátory v pancéřovaném provedení mohou dopravovat vzdušiny s abrazivními příměsemi o stejných teplotách jako u normálního provedení.

ZVVZ MACHINERY, a.s.
Sažínova 888
399 25 MILEVSKO

Tel: 382553103
Fax: 382553194
e-mail: zvvz@zvvz.cz

PŘÍLOHA č. 4

